

ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD DE HUECOS ESPECTRALES EN
TELEVISIÓN EN LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS OFICIALES EN
COLOMBIA

CRISTIAN LEONARDO VARGAS HERREÑO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ, COLOMBIA

2020

ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD DE HUECOS ESPECTRALES EN
TELEVISIÓN EN LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS OFICIALES EN
COLOMBIA

CRISTIAN LEONARDO VARGAS HERREÑO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:
Ingeniero de Telecomunicaciones.

Directora:

Ing. MÓNICA ESPINOSA BUITRAGO M.Sc.

Asesora:

Ing. ANGELA TATIANA ZONA ORTIZ PhD.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ, COLOMBIA
2020

GLOSARIO

IEO: Instituciones Educativas Oficiales.

ANE: Agencia Nacional del Espectro.

CNAF: Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

ER: Espectro radioeléctrico.

TDT: Televisión Digital Terrestre.

TVWS: TV White Space

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

Contenido

INTRODUCCIÓN	6
1. MARCO GENERAL DEL PROYECTO	8
1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROBLEMA	8
1.2. JUSTIFICACIÓN	10
1.3. OBJETIVOS	11
1.4. ALCANCE	11
2. MARCO TEORICO	12
2.1. TVWS EN COLOMBIA	13
3. MARCO JURÍDICO	14
3.1 Espectro Radioeléctrico	14
3.1.1 Bandas de Frecuencia	15
4. ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD	19
4.1 Requerimientos técnicos y regulatorios para la TVWS	19
4.2 Muestra de las IEO que serán objeto de estudio de disponibilidad	21
4.3 Sistema para obtener la lista de canales disponibles de acuerdo con la regulación de la Agencia Nacional de Espectro	23
4.3.1 ANACONDA	24
4.3.2 PYCHARM	29
4.3.3 Instalacion de librerías	34
4.3.4 JSON	38
4.5 Herramientas que permitan construir la base de datos de IEO, y visualizar todos puntos geográficos del mapa colombiano	43
4.6 Disponibilidad de canales TVWS en las IEO	49
5. Conclusiones	52
6. Bibliografía y fuentes	54

INTRODUCCIÓN

A medida que la tecnología avanza, la educación avanza con ella, y la apropiación de nuevas tecnologías de la información y la comunicación se ven involucradas en estas. La educación colombiana atraviesa un proceso de cambio y renovación que cada día busca fortalecer y disminuir la brecha digital de la nación, dando así proyectos gubernamentales los cuales buscan que desde la primera infancia se busque el apoderamiento de las diferentes tecnologías de la información y las comunicaciones, para estar a la vanguardia a nivel mundial.

Esta búsqueda para disminuir la brecha digital ha alcanzado a la educación básica, media y media-técnica en los municipios y veredas del país, alejadas del casco urbano. Estas instituciones no tienen un apropiamiento adecuado de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones, ya que no se cuenta con un recurso de constante de innovación tecnología como lo es Internet.

En estas veredas o municipios, en muchas ocasiones es muy difícil el acceso o despliegue de tecnologías alámbricas como lo son las redes cableadas, o redes directas punto a punto o multipunto. En el caso de las zonas rurales, como en el caso de las instituciones educativas oficiales no se cuenta con el cien por ciento de conectividad [1] a un servicio de red de telecomunicaciones. Las soluciones cableadas como la fibra óptica , el cable coaxial o el par de cobre, no son viables para las zonas rurales apartadas [2], por lo que es conveniente una solución inalámbrica. Por lo anterior, se evidencia la necesidad de realizar un despliegue inalámbrico, con tecnologías móviles o redes que propaguen la información a través del espectro radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico [3] es un recurso que tiene diferentes bandas de frecuencia que son consideradas bandas de uso libre, bandas de uso licenciado y bandas de acceso dinámico al espectro. Las bandas de uso licenciados son

usadas por parte de los operadores de telecomunicaciones para generar cobertura a los usuarios, sin embargo, estas bandas deben tener un pago y una licencia menor o igual 10 Años. Lo anterior, implica que los costos para el desarrollo de estas redes que dependen de factores tales como la densidad de población. Por lo anterior, para el caso de las Instituciones Educativas Oficiales (IEO), se debe realizar estudios de conectividad con bandas de frecuencia de uso libre y de acceso dinámico al espectro.

De acuerdo con las necesidades de conectividad de IEO[4], en esta investigación se busca identificar la disponibilidad de la banda de frecuencia Ultra Altas (UHF) del espectro radioeléctrico en el servicio de televisión dada su alta capacidad de propagación, y identificar acceso dinámico al espectro de acuerdo con la regulación vigente colombiana.

1. MARCO GENERAL DEL PROYECTO

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROBLEMA

En el caso colombiano, uno de los retos más grandes en el sector educativo, es fortalecer las Tecnologías de la información y la Comunicación (TIC) en Instituciones Educativas Oficiales (IEO). De acuerdo con las estadísticas de planes como conexión total, el 43.2% de las IEO no cuenta con acceso a Internet. Teniendo en cuenta que Internet es uno de los recursos que permite la aprobación de las TIC, se hace necesario poder establecer redes de acceso que permitan dicha conectividad. Adicionalmente, distintos mecanismos y programas de gobierno, como lo es el plan conexión total, el cual tiene como principal objetivo cubrir de manera eficiente y oportuna las IEO en materia de conectividad y calidad de servicio[4].

Los Huecos Espectrales en televisión (TVWS, por sus siglas en inglés), son espacios de frecuencias que no se encuentran asignadas en ciertos municipios por los operadores de televisión. Los usuarios secundarios oportunistas de TVWS que acceden deben evitar las interferencias a los usuarios primarios de TV. El uso de los TVWS es gestionado por entes reguladores que en el caso colombiano sería la Agencia Nacional de Espectro (ANE). Los TVWS se encuentran en la banda de frecuencia de Ultra Altas (UHF, por sus siglas inglés) lo que permite alto nivel de cobertura, lo que sería una opción importante para la conectividad (definiendo conectividad como la capacidad de mantener una conexión entre dos o más puntos en un sistema, conectado con otro, ubicado en distintos puntos geográficos) de estas IEO

Con el fin de desarrollar una red TVWS se hace necesario el estudio de los TVWS en Colombia, y el despliegue de esta tecnología en territorio nacional, para ello se tienen en cuenta factores indispensables como lo son, la

disponibilidad TVWS, los requerimientos TVWS y la normativa del estado para las TVWS. Teniendo en cuenta estos factores se establecerá la disponibilidad para IEO de acuerdo con la regulación vigente. La disponibilidad en la red de TVWS se hace teniendo en cuenta una base de datos denominada Base de Datos por Geolocalización (GLDB, por sus siglas en inglés) la cual en la red TVWS es la encargada de proveer los canales disponibles en las coordenadas solicitadas.

¿Cuál es el impacto de desarrollar un estudio de disponibilidad para Instituciones de Educación Oficial colombianas de acuerdo la disponibilidad de frecuencias, estudio de coberturas y tecnologías de acceso?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Según estadísticas del DANE [5] en el 2017 el uso de Internet en zonas rurales y poblados es del 37%, indicando que más de la mitad de estas zonas se encuentran sin conectividad, bien sea por su difícil acceso geográfico, por su alcance limitado o porque su implementación requiere de una gran inversión monetaria, dado este problema es necesario establecer soluciones de mejora, las cuales les permitan a estas IEO la conectividad a la red.

El Espectro Radioeléctrico (ER), se gestiona con respecto a bandas licenciadas, no licenciadas y de acceso dinámico (DSA) al espectro (DSA). Las bandas de uso licenciado, tienen un costo alto para su uso. La ANE se asegura que las bandas licenciadas no sean interferidas. Con respecto a las bandas no licenciadas, tienen acceso al ER sin permiso, pero no se asegura que sean interferidas. Finalmente, con DSA se establece el acceso a bandas licenciadas que no se estén usando en diferentes partes del país, de acuerdo con ciertos lineamientos regulatorios, estas bandas no tienen costo para su uso y no son protegidas por interferencias, pero cuenta con un permiso inicial para su uso[6].

Dado esto, es importante caracterizar los diferentes municipios y definir cuáles canales están disponibles para el uso de TVWS, para ello es necesario crear un mapa de Colombia, dividiéndolo en sus municipios, para así determinar los canales que están disponibles de acuerdo con un sistema cliente servidor con el modelo de cálculo de la base de datos de huecos de la ANE desarrollada por la Universidad Santo Tomás.

1.3. OBJETIVOS

Desarrollar un estudio de disponibilidad en TVWS para las IEO en Colombia de acuerdo con los requerimientos regulatorios y tecnológicos de la banda de frecuencia de 470 MHz a 698 MHz.

- Identificar los requerimientos de las IEO de Colombia en cuanto conectividad y regulación
- Analizar el número de canales de TVWS disponibles en Colombia por medio de una base de datos que permitan establecer las condiciones iniciales de esta tecnología.
- Definir la disponibilidad de canales TVWS en las IEO de acuerdo con las condiciones iniciales establecidas.

1.4. ALCANCE

- 1) Identificar y documentar los requerimientos técnicos y regulatorios para la TVWS
- 2) Definir la muestra de las IEO que serán objeto de estudio de disponibilidad
- 3) Generar un mecanismo que permita obtener la lista de canales disponibles de acuerdo con la regulación de la Agencia Nacional de Espectro Definir la muestra de las IEO que serán objeto de estudio de conectividad.
- 4) Establecer la herramienta para la base de datos geográfica que permita establecer el número de canales disponibles para toda Colombia.
- 5) Diseñar una base de datos que permita identificar el número de canales disponibles para toda Colombia
- 6) Establecer las herramientas que permitan visualizar todos puntos geográficos del mapa colombiano y los huecos espectrales disponibles

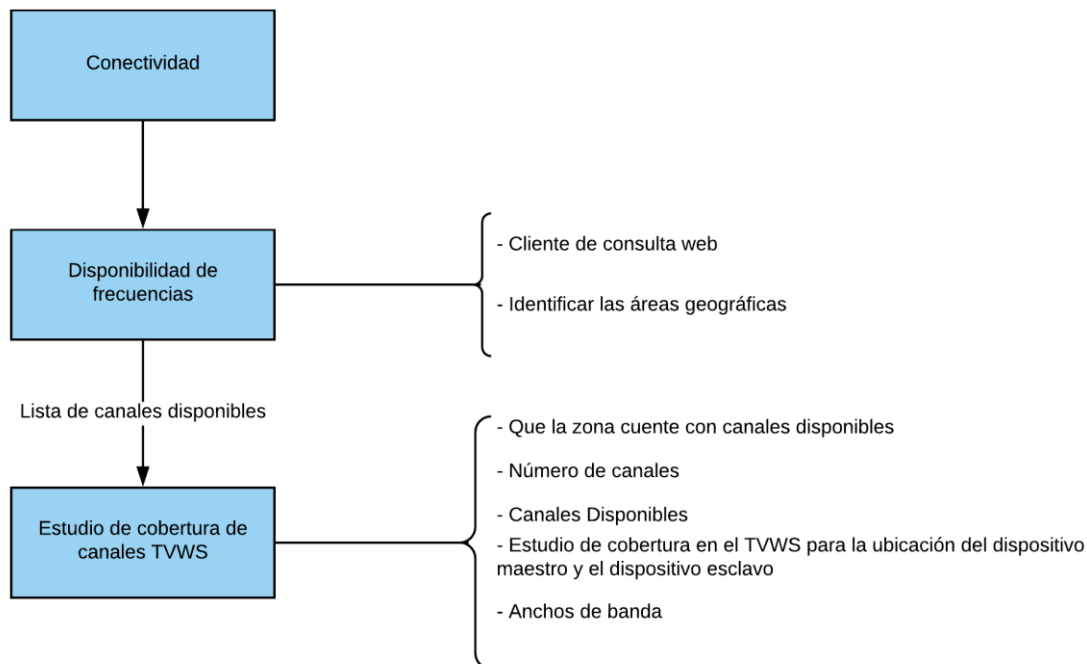


Figura 1 Diagrama de trabajo para cumplir los objetivos

2. MARCO TEORICO

Los espacios en blanco en televisión hacen referencia a los espacios existentes entre los canales de televisión para evitar interferencias, y al espectro que no se encuentra en uso en determinadas zonas geográficas o momentos concretos en la banda de frecuencias ultra altas (UHF) y muy altas frecuencias (VHF) [7] [8].

En la actualidad se ha recomendado el uso de espacios en blanco en televisión para lanzar servicios de internet de banda ancha inalámbrico, a través del uso de dispositivos especiales para este tipo de frecuencias, los cuales trabajan mediante radio definida por software, y que permite hacer uso de cualquier frecuencia asignada por la plataforma con la que se esté trabajando. Dicha plataforma opera con una base de datos del espectro de espacios en blanco en televisión o por sus siglas en inglés TVWS (TV White Space), donde las frecuencias son asignadas para

uso sin licencia dependiendo de la regulación que se tenga en cada país, haciendo énfasis en las características técnicas de los dispositivos TVWS para evitar así cualquier posible interferencia a usuarios primarios y secundarios.

Algunos de los proyectos regulatorios para TVWS se han desarrollado en Reino Unido, Estados Unidos, la Unión Europea, África y en América Latina, donde Colombia fue el primer país latino en establecer las políticas que regularan el uso de espacios en blanco en televisión

2.1. TVWS EN COLOMBIA

En Colombia se han desplegado tres pruebas piloto a lo largo del territorio nacional, en el servicio de internet, usando los espacios blancos en televisión o TVWS, y se hicieron en zonas rurales en las cuales este servicio es inaccesible o presenta dificultades para la transmisión de datos, los municipios seleccionados fueron: Dibulla ubicado en el departamento de la guajira en la escuela la punta de los remedios, Pamplonita en el departamento de norte de Santander en la institución educativa sede el páramo y por ultimo Aguadas del departamento de caldas en la escuela río arriba.

Estas pruebas piloto arrojaron que, la viabilidad de estos huecos espectrales en uso de internet de banda ancha es excelente, puesto que, se pudo establecer una comunicación entre Bogotá a los distintos municipios objetivos, sin embargo, es necesario estudiar más este tema a nivel nacional para darle cobertura a los distintas IEO del país, y la insurgencia de nuevas tecnologías.

3. MARCO JURÍDICO

3.1 Espectro Radioeléctrico

Según la constitución política se define el espectro radioeléctrico en el artículo 75 como: *“Artículo 75. El espectro electromagnético es un bien público inenajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado. Se garantiza la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley. Para garantizar el pluralismo informativo y la competencia, el Estado intervendrá por mandato de la ley para evitar las prácticas monopolísticas en el uso del espectro electromagnético.”* (Constitución Política de Colombia) [9]

Por lo tanto, el Espectro Radioeléctrico (ER) es el que permite la transmisión de servicios que se propagan en el espacio libre, por lo cual se les da el nombre de medios no guiados, un ejemplo claro del espectro radioeléctrico son las comunicaciones móviles, las cuales no necesitan de una conexión física para propagar la información.

Una característica principal del ER es su longitud de onda, se define que a mayor frecuencia su longitud de onda es mayor, esto quiere decir que, a bajas frecuencias, la onda se propagara en una mayor distancia y a mayores frecuencias la onda se propagara a una menor distancia, es importante que se administre correctamente el espectro radioeléctrico puesto que como lo afirma la constitución política de Colombia en un bien limitado.

3.1.1 Bandas de Frecuencia

En Colombia, el ente que asigna las bandas de frecuencia se llama MinTIC, estas bandas de frecuencia se otorgan de acuerdo a su servicio para su uso el cual tiene un costo monetario a estos se les llama usuarios primarios. Al asignarles una banda de frecuencia a los usuarios primarios, ellos pueden disponer de esta frecuencia para determinados usos, como lo es el caso de la televisión análoga. Estas bandas se asignan a nivel nacional, es decir, los usuarios licenciados tienen control sobre ese pedazo de espectro que se les proporciona, pero ¿Cuál es el uso del espectro radioeléctrico que no se utiliza por parte de los usuarios licenciados?

El ER es un recurso escaso [10] , es importante que su gestión sea eficiente, por lo que se dividen en bandas, las cuales son establecidas por la Unión Internacional De Telecomunicaciones UIT). Para el caso de Colombia, la Resolución 129 del 29 de enero de 2010 expedida por el Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones (MINTIC) se estableció la organización técnica del espectro radioeléctrico, por lo cual se actualizo el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNABF) como se observa en la Tabla 1.

Banda	Abreviatura	Frecuencia de Operación
Very low frequency	VLF	3 a 30 KHz
Low frequency	LF	30 a 300 KHz
Medium frequency	MF	300 a 3000 KHz
High frequency	HF	3 a 30 MHz
Very high frequency	VHF	30 a 300 MHz
Ultra high frequency	UHF	300 a 3000 MHz
Super high frequency	SHF	3 a 30 GHz
Extreme high frequency	EHF	30 a 300 GHz

Tabla 1 Bandas de frecuencias Disponibles En Colombia

3.1.2 Huecos Espectrales en Televisión

En Colombia la televisión análoga opera en la banda de VHF y UHF por lo cual tiene asignados varios canales, los cuales no se usan temporalmente en distintas partes del país. Según la Agencia Nacional del Espectro (ANE), en el país el 99% de sus zonas rurales utilizan solamente 10 canales de televisión de los 48 que están disponible [7]. Lo anterior indica que, los 38 canales restantes, no están siendo usados o utilizados, creando un desperdicio del ER.

Ahora bien, en el país según estadísticas del DANE en el 2017 el uso de internet en zonas rurales y poblados es del 37%[5], indicando que más de la mitad de estas zonas se encuentran sin internet, bien sea por su difícil acceso geográfico, por su alcance limitado o porque su implementación requiere de una gran inversión monetaria.

El gobierno colombiano establece que, para la utilización de estos espacios en blanco, se deben cumplir condiciones técnicas y operativas, adicionalmente se estipula que no se garantiza siempre la disponibilidad de un canal y que este estará sujeto a cambios sin ningún aviso pre eliminar, por lo cual estos canales son almacenados en una base de datos georreferenciada[11].

En Colombia el espectro radioeléctrico es regulado por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las comunicaciones y la ANE. Con respecto a bandas de frecuencias, estas pueden ser clasificadas como bandas de uso libre, licenciado y de acceso dinámico. Para de TVWS las bandas en frecuencia son clasificadas como de acceso dinámico. Las bandas de acceso dinámico se definen como bandas de acceso libre si el usuario primario oportunismo tiene la autorización por el ente regulador. En el caso colombiano la ANE estableció la regulación de acceso a TVWS. Las resoluciones que la ANE ha definido con respecto a TVWS se definieron como 461 de 2018 y la 181 de 2019.

La resolución 461 de 2018 especifica las bandas de frecuencia, potencias, alturas de antena, alturas promedio del terreno, protocolo y elementos de la red TVWS. En la Tabla 2 se muestra el resumen de las especificaciones técnicas de la resolución. Con respecto a los elementos la resolución define que los dispositivos TVWS que deseen acceder a estas bandas de frecuencia lo deben hacer por medio de una base de datos de huecos espectrales.

	Característica Técnica	Especificación técnica
Resolucion 461 de 2018 establece las condiciones de uso de los dispositivos de espacios en blanco, y las bandas de frecuencia para su utilización dentro del territorio del país conforme a la ley 1347 de 2009	Ganancia Maxima de antena	14 dBm en referencia a un dipolo de media onda
	Altura maxima de la antena	50 metros por encima del nivel de terreno
	Densidad espectral de potencia maxima	12,6dBm / 100 KHz
	Banda de operación	470 MHz - 698 Mhz
	Modo de operación	Ubicación Fija
	Altura maxima por encima del promedio del terreno	800 Metros

Tabla 2 Resumen técnico de la resolución 461 de 2018

Con respecto a la resolución 181 de 2019, se realizó una actualización del módulo de comunicaciones de la resolución 461 de 2018. Lo cual no afecta el módulo de cálculo. puesto que establece las mismas condiciones técnicas de la regulación 461.

Adicionalmente, los espacios en blanco en televisión son definidos de acuerdo con la Resolución No. 461 del 1 de agosto de 2017¹(Nacional & Espectro, 2016) como: *“Frecuencias de la banda comprendida entre 470 MHz a 698 MHz que no están asignadas en un área específica y que pueden ser usadas por aplicaciones de radiocomunicaciones en dicha área, sin causar interferencias perjudiciales a las estaciones de un servicio primario o secundario a las que se le hayan asignado o se le asignen frecuencias en el futuro”*. Adicionalmente, los dispositivos de espacios en blanco son definidos como: *“Dispositivo con capacidad de geolocalización incorporada, que puede hacer uso de los espacios en blanco mediante la interacción*

con una base de datos de espacios en blanco. Se clasifican en dispositivos maestros y dispositivos esclavos”.[11]

Según con lo establecido en la Resolución 461 del 1 de agosto de 2017 se define que, en Colombia, el sistema web de la Base de Datos de espacios en blanco (BDEB) es una herramienta de software la cual es administrada por la ANE, y el objetivo de esta es contener la lista de canales disponibles en TVWS y responder a peticiones o request realizada por un dispositivo de WHITE SPACES (espacios en blanco). Para obtener la lista de canales disponibles la BDEB tiene en cuenta la ubicación geográfica del dispositivo que lo solicita, las asignaciones existentes en la banda 470 MHz a 698 MHz y las condiciones de conexión para garantizar la protección contra interferencias a bandas licenciadas. En el año 2018 por medio de una convocatoria de proyectos de investigación de la ANE se estableció quien desarrollaría la BDEB y actualmente se encuentra en desarrollo y estará disponible en el año 2019.

4. ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD

El estudio de disponibilidad se basa en las siguientes fases: requerimientos técnicos y regulatorios para la TVWS, selección de la muestra de las IEO que serán objeto de estudio de disponibilidad, una herramienta geográfica y en un análisis de lista de canales disponibles.

4.1 Requerimientos técnicos y regulatorios para la TVWS

La ANE en el año 2018, publicó una convocatoria pública dirigida a universidades con el fin de realizar un proyecto de investigación que permitiera el desarrollo e implementación de la base de datos para realizar la consulta de canales disponibles en TVWS. La Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás fue la ganadora de esta convocatoria. En el desarrollo del proyecto, La Universidad Santo Tomas desarrollo una base de datos con una arquitectura modular. Los módulos de sistema fueron: módulo de cálculo, módulo de comunicaciones, módulo de interfaz, módulo de historial de comunicación y módulo de gestión de espectro, tal como se observa en la Figura 9. Con el fin de conocer la lista de canales disponibles en este proyecto de investigación solo se hará uso del modelo de cálculo, que se encuentra en implementado en lenguaje Python, con una base de datos no relacionar que se denomina MongoDB, motores de base geográfico y mensajes JSON. La arquitectura para solicitar datos del modelo de cálculo es una arquitectura cliente servidor que se observa en la Figura 2.

En dicho documento con el cual la universidad gano la convocatoria se evidencia que la plataforma para el uso de los espacios en blanco en Colombia consta de 5 módulos mencionados anteriormente, lo cuales se describen de la siguiente manera:

- Módulo de interfaz gráfica del usuario: Este módulo es el que permite al usuario ingresar las coordenadas del punto objetivo o del cual se quiere indagar si cuenta con un espacio en blanco y cuáles son sus canales disponibles.
- Módulo de comunicación: este módulo permite establecer la comunicación de la interfaz gráfica y la plataforma para TVWS, este módulo se encarga de enviar y recibir la información decodificada entre dispositivos y otros módulos de la plataforma.
- Módulo de historial de comunicación: este módulo se encarga de almacenar el historial de consultas entre los dispositivos y la plataforma.
- Módulo de cálculo: Este módulo es el que se encarga de calcular la lista de canales.
- Módulo de gestión de espectro: este módulo contiene la información de servicios ya atribuidos a el espectro y normativas técnicas de la ANE

PLATAFORMA DE SOFTWARE PARA EL USO DE LOS ESPACIOS EN BLANCO EN COLOMBIA

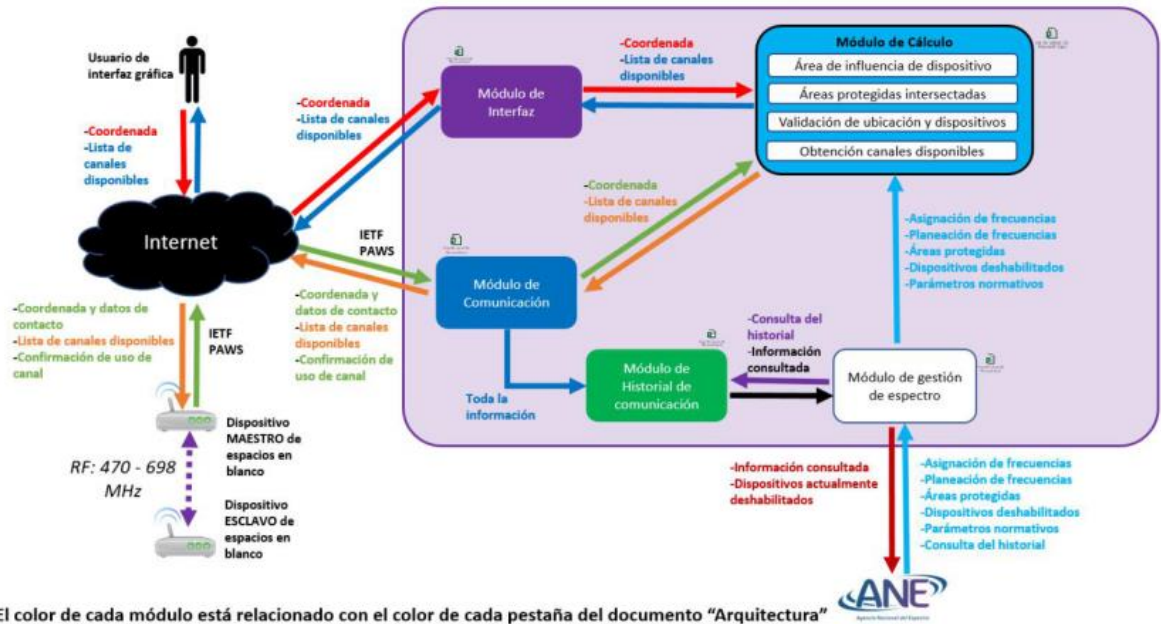


Figura 2 Arquitectura de TVWS establecida por la ANE[12]

4.2 Muestra de las IEO que serán objeto de estudio de disponibilidad

El proyecto de conectividad universal [13] es una iniciativa propuesta por el MINTIC en el cual busca beneficiar a la población rural del país y promover el apropiamiento de las TIC para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, este plan, busca conectar a más de 370 municipios de Colombia, en los cuales se distribuirán en 20 departamentos, los cuales son Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda, Tolima, Huila, Bolívar, Cesar, Córdoba, Magdalena, Sucre, Cauca, Nariño, Valle del Cauca, Cundinamarca, Boyacá, Meta, Norte de Santander, Santander, Casanare. Como se visualiza en la Figura 3.



Total Departamentos	21
Total Municipios	281
Total Centros Poblados	1000

Figura 3 Distribución territorial de los centros poblados[13]

Este proyecto tiene como propósito que los departamentos beneficiados, puedan acceder gratuitamente al servicio de internet desde cualquier dispositivo inteligente, ya sea una tableta o computador portátil por un tiempo determinado, con el fin reducir la brecha digital del país y mejorar la calidad de vida y educación de los municipios o cabeceras rurales, y aumentar la infraestructura TIC de Colombia.

El proyecto de Acceso Universal Sostenible (AUS)[13] que beneficiara a estos departamentos tiene como misión mejorar la calidad de educación en los diferentes municipios del país, y por ende también promueve que esta solución sea sostenible para la comunidad, es por eso que, uno de los ítems fundamentales de este proyecto sea que su ejecución, planeación y mantenimiento tenga costos mínimos para que su operación sea sostenible

De este modo se puede definir de los municipios de Colombia en los cuales están cobijados dentro de este proyecto de gobierno AUS, este documento tiene como fin

realizar un estudio de viabilidad en cuanto a conectividad entre los municipios que no están contemplados en el plan gubernamental.

De acuerdo con los departamentos seleccionados dada su orografía o difícil acceso de medios guiados que no tendrán cobertura en el plan de conectividad se identificaron las ubicaciones de todas las escuelas rurales. En la Tabla 3 se observan algunos departamentos como los son: Vichada, Vaupés, San Andrés, Putumayo, La Guajira, Guaviare, Choco, Caquetá, Atlántico, Amazonas.

Nombre del departamento	Cubierto en el Plan AUS
Vichada	No
Vaupés	No
San Andrés	No
Putumayo	No
La Guajira	No
Guaviare	No
Choco	No
Caquetá	No
Atlántico	No
Amazonas	No

Tabla 3 Municipios No Cubiertos En El Plan AUS

4.3 Sistema para obtener la lista de canales disponibles de acuerdo con la regulación de la Agencia Nacional de Espectro

La instalación del modelo de cálculo se basó en requerimientos de software, de acuerdo con el desarrollo establecido por la Universidad Santo Tomás y el servidor que se encuentra en la ANE. Sin embargo, este servidor cuenta con restricciones de uso a nivel de número de puntos de consultas. Por tal razón se realizó la

instalación de este servidor en un equipo de la Universidad Santo Tomás. Para la instalación es necesario los siguientes software Anaconda, Pycharm y librerías para su ejecución.

4.3.1 ANACONDA

Anaconda es una distribución de código abierto para Python, la cual contiene librerías para el tratamiento de datos con Python. Funciona como un administrador de entorno y posee más de 700 paquetes open source, con estos paquetes se pueden hacer tratamiento de datos científicos, estadísticos, machine learning, procesamiento de rasters, en la cual facilita procesar grandes cantidades de información debido a su motor de procesamiento, actualmente funciona con la versión 5.0.0 de Python.[14]

Requerimientos de la aplicación

- Sistema operativo: Windows 7 o más reciente, macOS 10.10+ de 64 bits o Linux, incluidos Ubuntu, RedHat, CentOS 6+ y otros.
- Arquitectura del Sistema: Windows: 64 bits x86, 32 bits x86; MacOS: 64 bits x86; Linux: 64 bits x86, 64 bits Power8 / Power9.
- Mínimo 5 GB de espacio libre en disco para descargar e instalar.
- Python.

Instrucciones de Instalación en Windows

Como primera medida se debe ingresar al sitio web oficial de esta distribución de Python, en el siguiente link <https://www.anaconda.com> Luego de ingresar a la página web, se debe realizar un clic en la parte superior derecha en el apartado “Download” tal y como se muestra en la Figura 4.

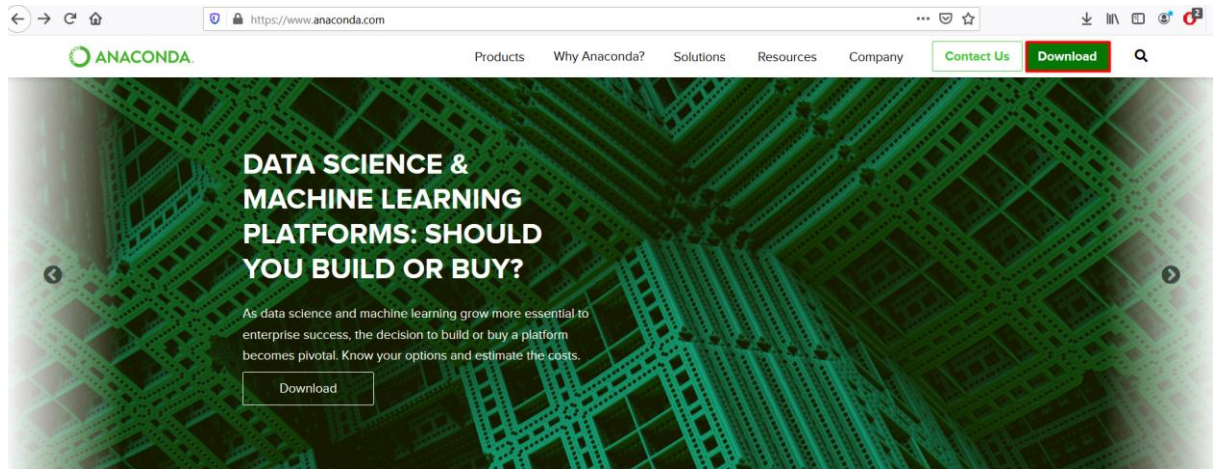


Figura 4 Página principal de anaconda

Es importante destacar que después de realizar el clic, la página web nos redireccionara a un segundo website para informar la versión en la que actualmente se encuentra la suite de anaconda y sus ejecutables dependiendo la plataforma que se esté usando, En este caso seleccionamos la plataforma de Windows tal como se observa en la Figura 5, dependiendo de la arquitectura del sistema operativo se seleccionara la descarga.

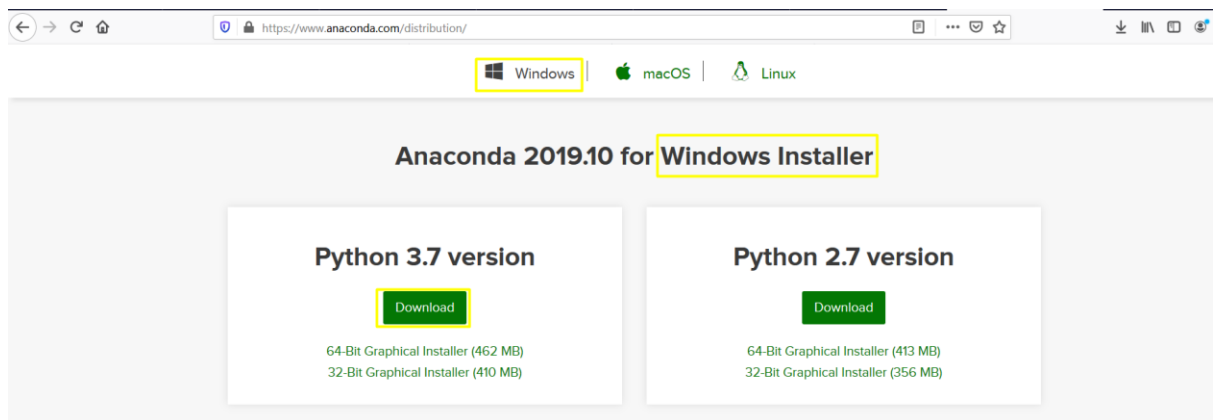


Figura 5 Descarga de anaconda para Windows

Una vez seleccionada la arquitectura del sistema operativo, se abrirá una ventana emergente la cual nos da una solicitud para guardar el archivo, por lo cual se procede a guardarlo en la ruta de las descargas o en un directorio que tenga fácil acceso tal y como se muestra en la Figura 6.

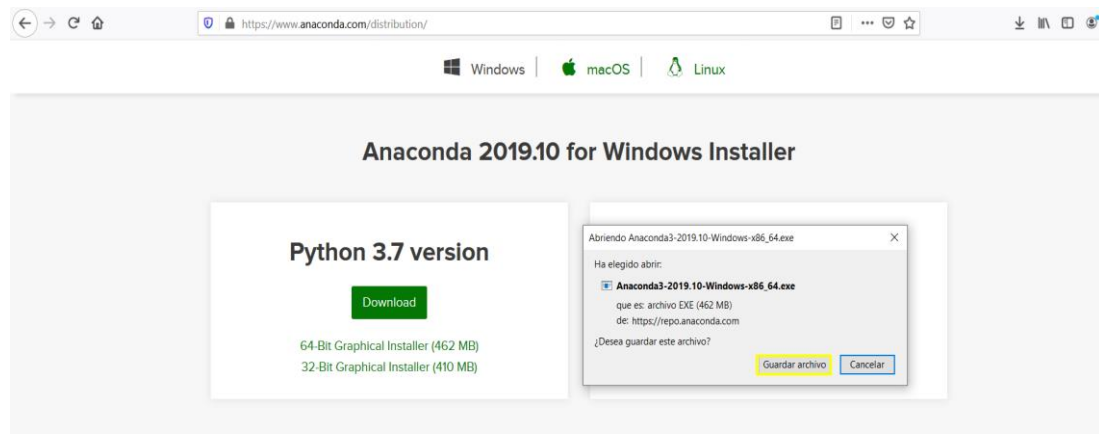


Figura 6 Descarga del archivo de instalación de anaconda

Una vez descargado el ejecutable, se procede con la instalación del software en la máquina para ello vamos a ubicar el directorio en el cual se guardó el archivo ejecutable, y se ejecutara tal como se ve en la Figura 7, en primera instancia se debe leer y aceptar los términos y condiciones para la ejecución de anaconda, además el tipo de licencia que este utiliza.

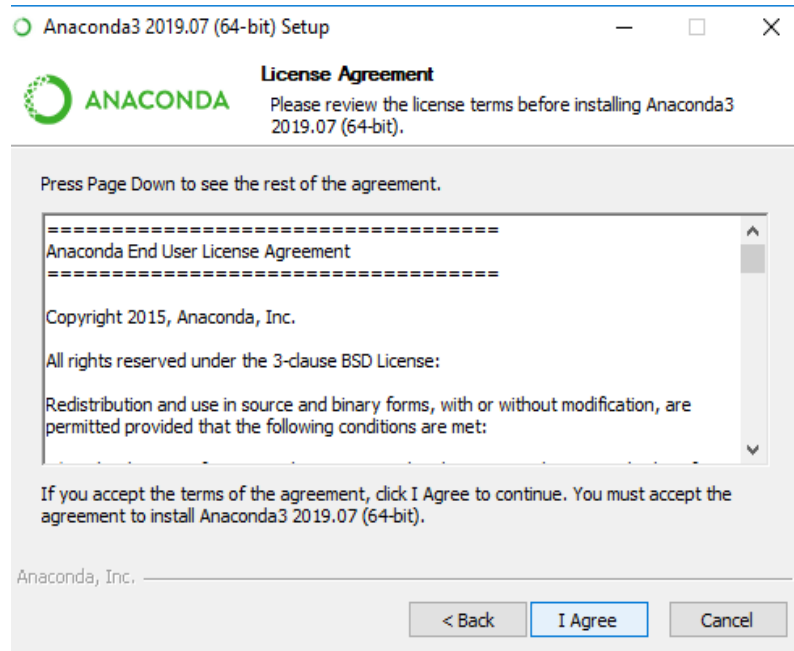


Figura 7 términos, condiciones y licencia de anaconda

Una vez leídos y aceptados los términos y condiciones del programa, elija el directorio de instalación, de preferencia en la raíz del disco duro (c) tal y como se muestra en la Figura 8

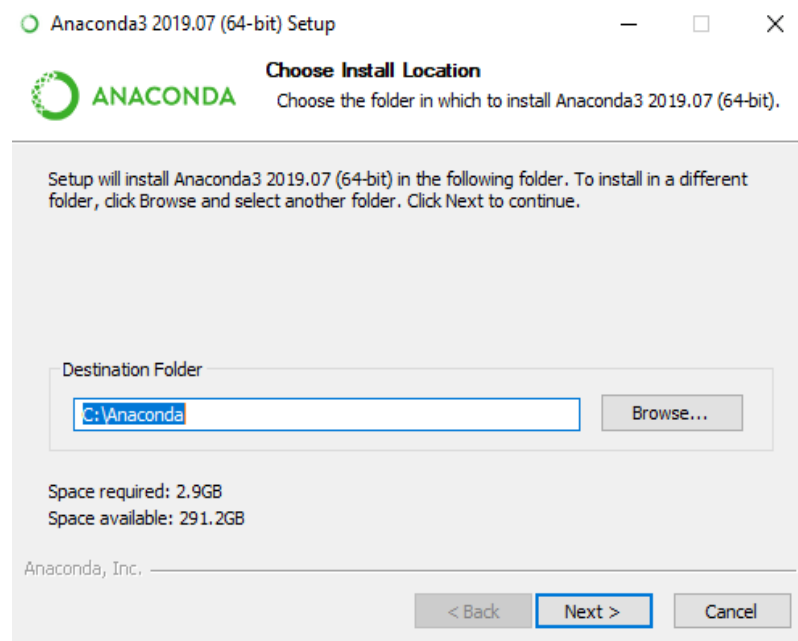


Figura 8 directorio raíz en el cual se instalará el software

Se elijen las preferencias de instalación, de recomendación elegir la segunda opción si se es la primera vez que se va a utilizar el software tal y como se muestra en la Figura 9, si es un usuario experimentado puede escoger la opción que desee.

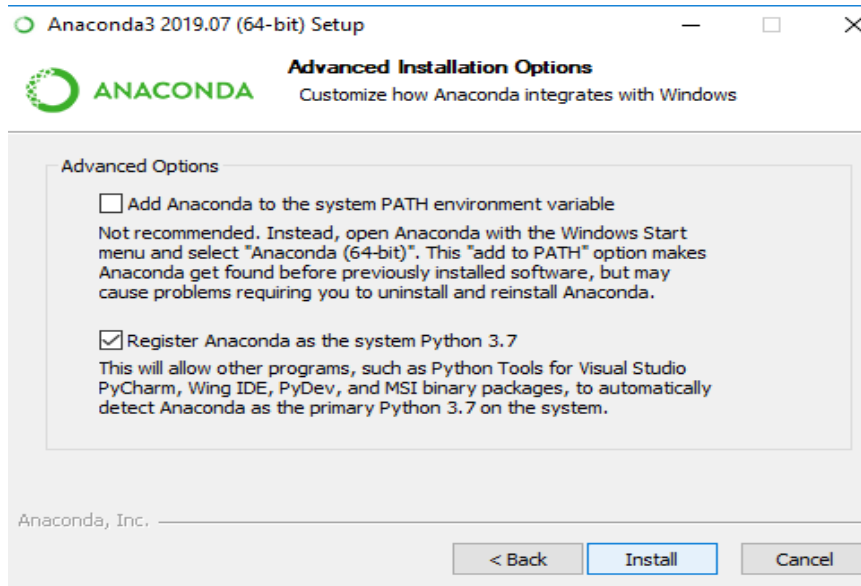


Figura 9 Opciones de instalación de anaconda

Luego de escoger la opción de instalación, se continua con el proceso de instalación del software, se espera a que este termine y se finaliza la instalación de este, tal y como se muestra en la Figura 10.

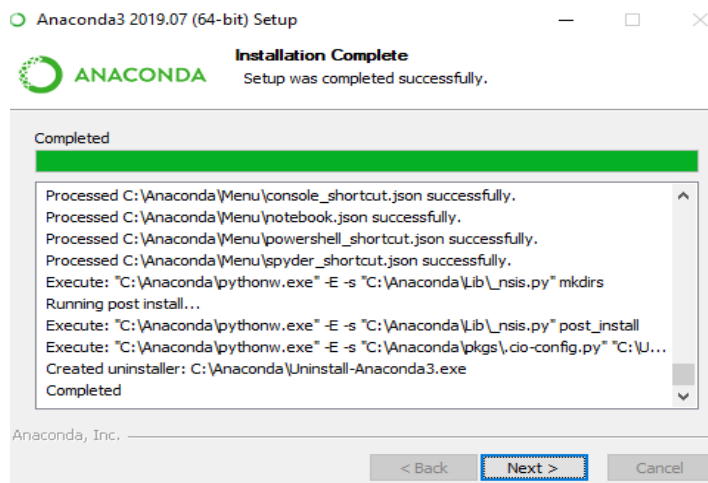


Figura 10 Finalización de la instalación de anaconda

4.3.2 PYCHARM

PyCharm es un IDE utilizado para realizar desarrollos en lenguaje de programación Python. Facilita el análisis de código y es parte de la suite de herramientas de programación ofrecidas por la empresa JetBrains[15]. Posee varios escenarios con el fin de construir código en distintos lenguajes de programación como lo son PHP y Ruby. Este IDE es desarrollado por la empresa JetBrains su funcionamiento de software se basa en sus licencias las cuales contienen dos versiones, la Community que es gratuita y orientada a la educación y al desarrollo puro en Python y la Professional, que incluye más características como el soporte a desarrollo web a través de frameworks como Django y Flask) pero esta última licencia es paga.

Requerimientos de la aplicación en Windows

- Versiones de 64 bits de Microsoft Windows 10, 8, 7 (SP1)
- 4 GB de RAM mínimo, se recomiendan 8 GB de RAM
- 1,5 GB de espacio en el disco duro + al menos 1 GB para cachés
- Resolución de pantalla mínima de 1024x768
- Python 2.7 o Python 3.5 o más reciente

Instrucciones de Instalación

Ingresa en <https://www.jetbrains.com/pycharm/download/> y descargue el instalador para la versión Community que es gratuita y está orientada al desarrollo científico, Tal y como se muestra en la Figura 11.

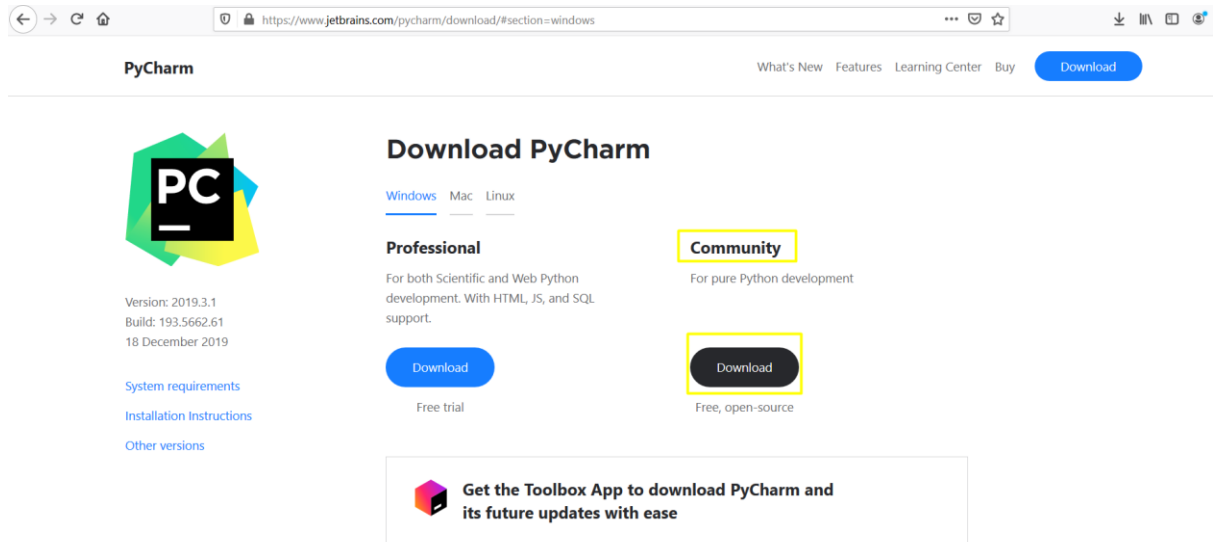


Figura 11 Instalación de PyCharm En Windows

Ejecute el instalador en el cual se muestran las opciones de instalación, tal y como se pueden apreciar en la Figura 12

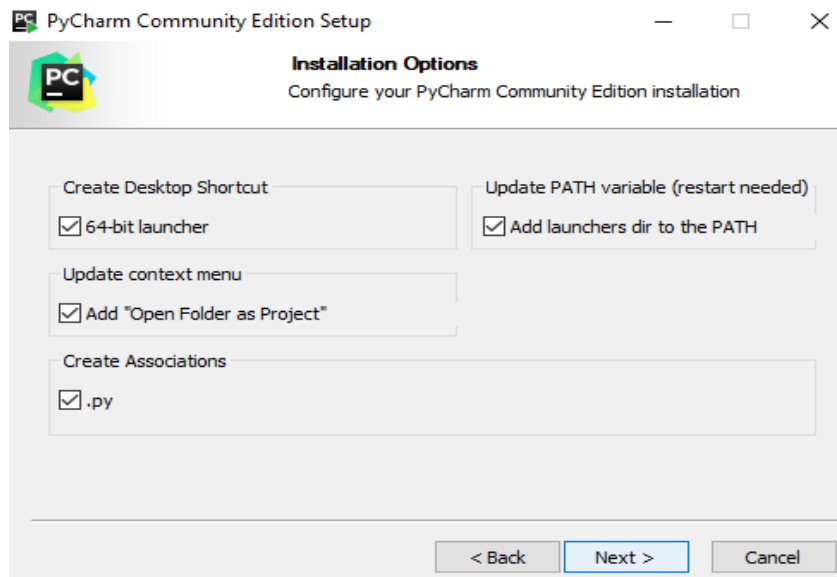


Figura 12 Opciones de instalación en PyCharm

Por lo tanto, una vez terminadas las opciones de instalación se procede a ingresar el acceso directo a la carpeta de anaconda tal como se describe en la Figura 13

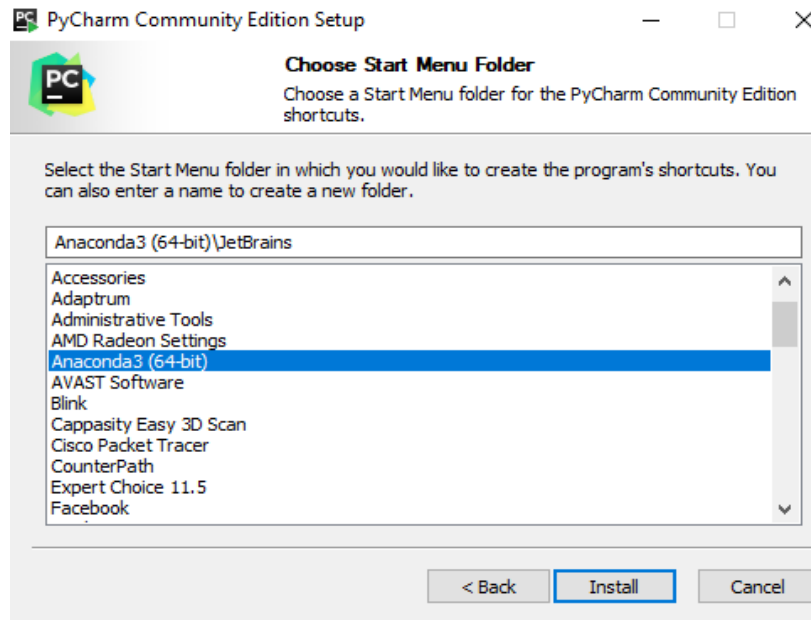


Figura 13 folder de acceso directo a PyCharm

Se da inicio a la instalación de PyCharm y se da un lapso a que este proceso termine, una vez finalizado el proceso se procederá con la instalación de librerías que requiere la suite de anaconda para su ejecución con PyCharm. En la Figura 14 se visualiza el proceso de culminación del software.

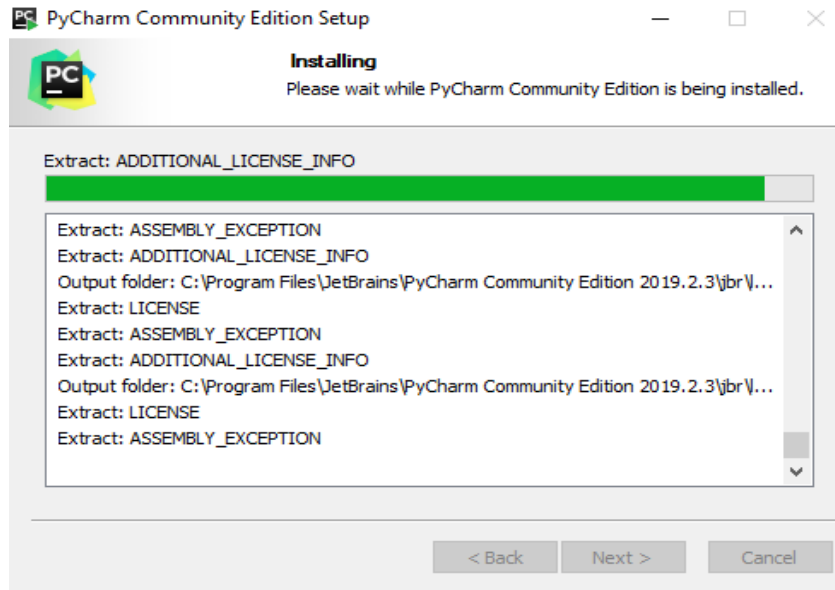


Figura 14 finalización de la instalación

Una vez culminado el proceso de instalación es importante seleccionar la opción de reiniciar la maquina ahora tal y como se muestra en la Figura 15, puesto que esto nos garantiza una instalación limpia, y que al momento de ejecutar el software este no se tenga ningún inconveniente.

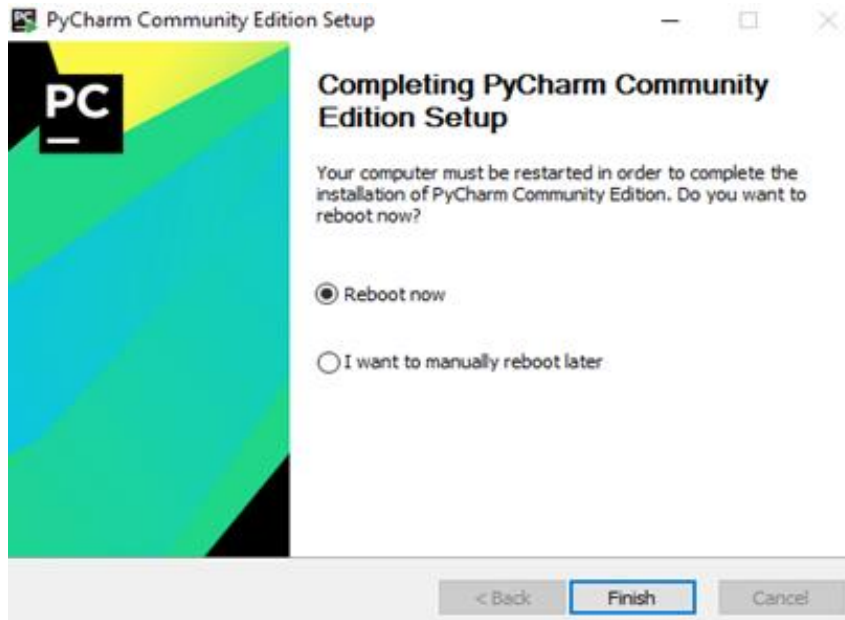
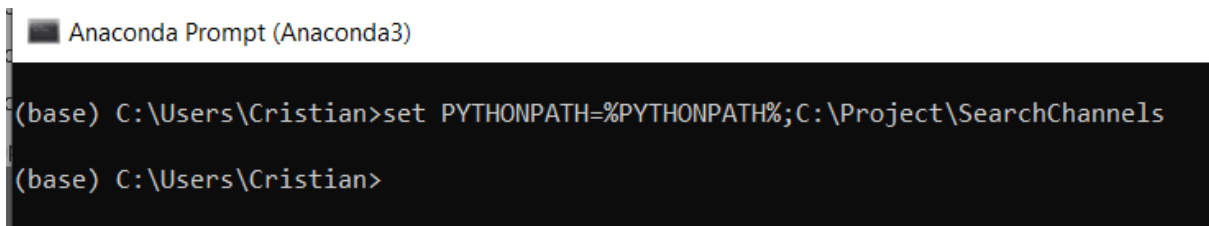


Figura 15 reinicio para instalación limpia del software

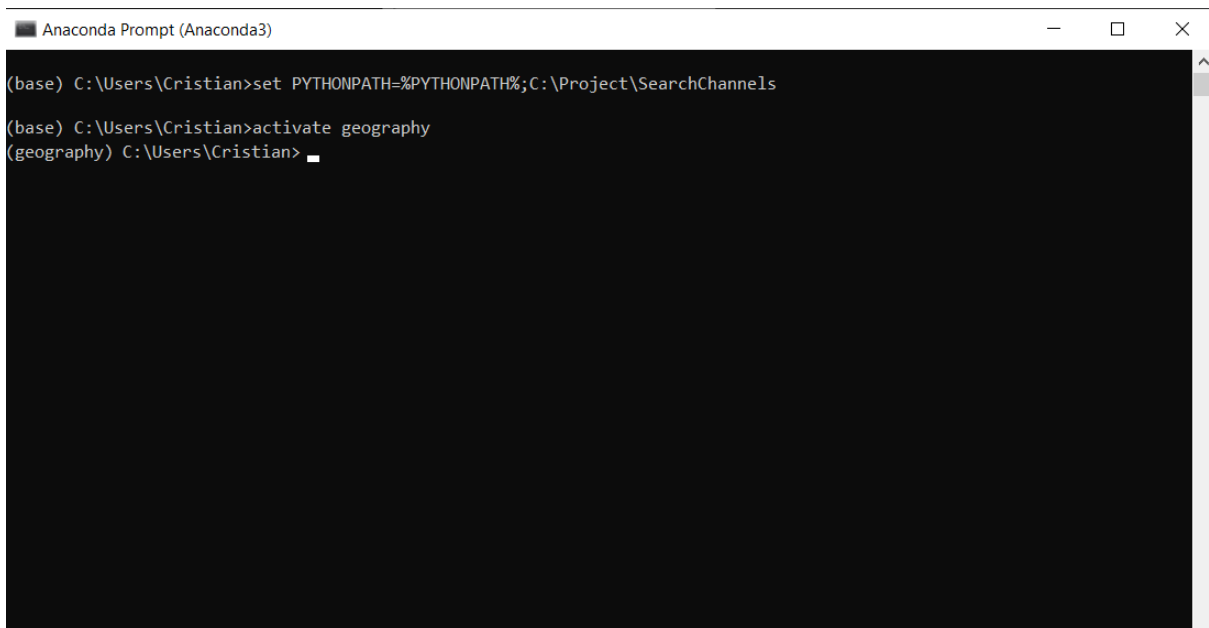
4.3.3 Instalacion de librerías

Luego de esto se crea el ambiente geográfico para poder utilizar los rasters, es decir En el Prompt o ventana de comandos de anaconda Figura 16 se debe realizar la creación del ambiente de geográfico para que importe las librerías necesarias para comenzar a utilizar cartografía, tal cual como se muestra en la Figura 17 y la instalación de las librerías gdal, las cuales se encuentran en el siguiente link <https://anaconda.org/conda-forge/gdal>



```
Anaconda Prompt (Anaconda3)
(base) C:\Users\Cristian>set PYTHONPATH=%PYTHONPATH%;C:\Project\SearchChannels
(base) C:\Users\Cristian>
```

Figura 16 Prompt Anaconda



```
Anaconda Prompt (Anaconda3)
(base) C:\Users\Cristian>set PYTHONPATH=%PYTHONPATH%;C:\Project\SearchChannels
(base) C:\Users\Cristian>activate geography
(geography) C:\Users\Cristian>
```

Figura 17 Ambiente geográfico Anaconda

En la ruta que describe la Figura 18, se observa que el entorno geográfico esta activo, u que se puede utilizar. Luego de esto debemos realizar la ejecución de los comandos de la Figura 19, para la instalación de las librerías gdal.

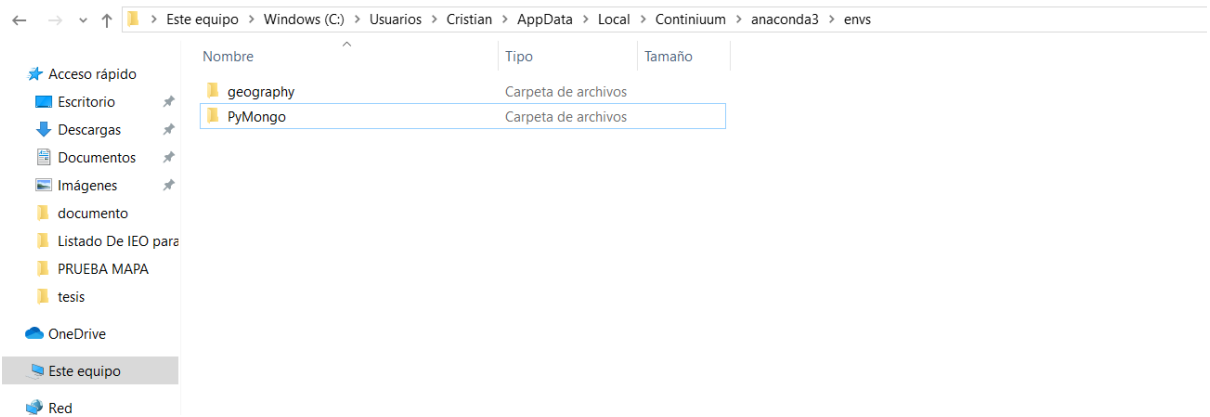


Figura 18 verificación de entorno geográfico

Para la instalación de las librerías gdal se deben realizar atreves del Prompt de anaconda y ejecutando las siguientes líneas de comando

```
conda install -c conda-forge gdal
conda install -c conda-forge/label/TEST gdal
conda install -c conda-forge/label/broken gdal
conda install -c conda-forge/label/cf201901 gdal
conda install -c conda-forge/label/gcc7 gdal
```

Figura 19 comandos para la instalación de librerías gdal

Luego de realizar la instalación de las librerías, se debe copiar el agente instalador del módulo de cálculo para TVWS , para esto debemos ir a la carpeta raíz donde se instaló en PyCharm, copiar el servidor que se encuentra en el siguiente link https://drive.google.com/drive/folders/1LSj_tWxdhVE-xP-iyMPRTaP6dYO_EIJ y pegarlo en la carpeta de Project tal y como se muestra en la Figura 20

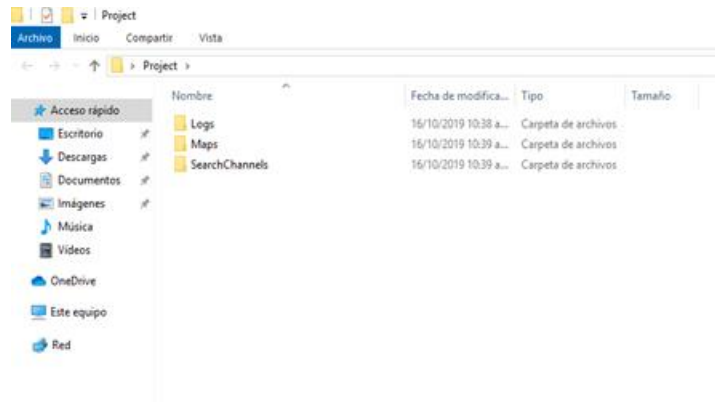


Figura 20 servidor módulo de cálculo para TVWS

Una vez realizado esto nos vamos al Prompt de anaconda y ejecutamos el siguiente comando: “python./sc_service/web_service.py” , tal cual como se ve en la Figura 21, esto con motivo de iniciar el servicio web de Python para la validación de puntos de huecos espectrales en TVWS.

```

Anaconda Prompt (Anaconda) - python ./sc_service/web_service.py
(base) C:\Users\INVTEL>set PYTHONPATH=%PYTHONPATH%;C:\Project\SearchChannels
(base) C:\Users\INVTEL>activate geography
(geography) C:\Users\INVTEL>cd C:\Project\SearchChannels
(geography) C:\Project\SearchChannels>python ./sc_service/web_service.py
+ util.load_config_path C:\Project\SearchChannels\sc_configuration\config_service.ini.
+ util.load_config_path C:\Project\SearchChannels\sc_configuration\config_service.ini.
** Load 4 rows in file boundaries.csv.
** Info: load_file_boundaries
** Load 5 rows in file thresholds_rx.csv.
** Info: load_file_thresholds
** Load 41 rows in file itu_1546.csv.
** Info: load_file_itu_1546
** Info: load_file_analogo
** Load 1122 rows in file analoga.csv.
** Info: load_file_prohibited
** Load 1122 rows in file analoga.csv.
** Info: load_file_digital
** Load 1122 rows in file analoga.csv.
+ util.load_config_path C:\Project\SearchChannels\sc_configuration\config_service.ini.
##### Load Resolution 0.02199433943
##### Load Shapefile
##### Load Raster
##### Load Ring
##### Load Array

```

Figura 21 inicio del servidor web modelo de cálculo TVWS

De esta forma tenemos el servidor activado y podemos empezar a probar la disponibilidad de los puntos, Ingresamos en el navegador <http://localhost:8001/ane/>. En esta página podemos ingresar la longitud y latitud del punto que se desea solicitar para la viabilidad del despliegue de TVWS, tal cual como se muestra en la Figura 22.

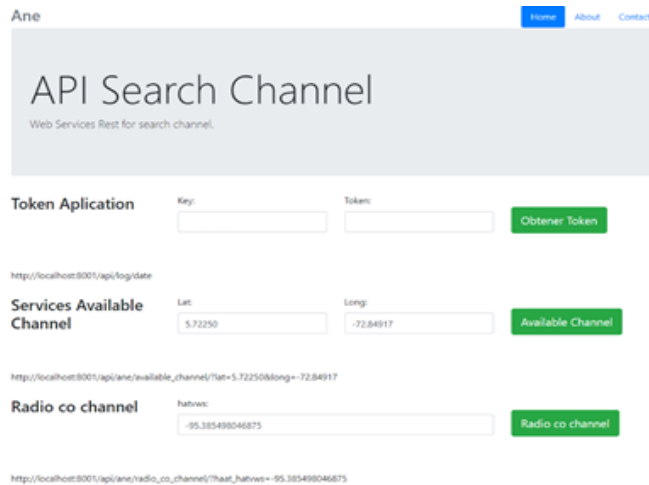


Figura 22 interfaz web modelo de calculo

Luego de ingresar el punto verificamos la disponibilidad de canales en el programa, el cual nos genera un resultado tal cual como se ve en la Figura 23.

```
Anaconda Prompt (Anaconda) - python ./sc_service/web_service.py
2019/10/16 11:18:03 AM - werkzeug - INFO - 127.0.0.1 - - [16/Oct/2019 11:18:03] "GET /ane/ HTTP/1.1" 200 -
2019/10/16 11:18:03 AM - werkzeug - INFO - 127.0.0.1 - - [16/Oct/2019 11:18:03] "GET /ane/narrow-jumbotron.css HTTP/1.1"
404 -
2019/10/16 11:18:03 AM - werkzeug - INFO - 127.0.0.1 - - [16/Oct/2019 11:18:03] "GET /assets/js/ie10-viewport-bug-workar
bund.js HTTP/1.1" 404 -
2019/10/16 11:18:04 AM - werkzeug - INFO - 127.0.0.1 - - [16/Oct/2019 11:18:04] "GET /static/js/md5.js HTTP/1.1" 200 -
2019/10/16 11:18:04 AM - werkzeug - INFO - 127.0.0.1 - - [16/Oct/2019 11:18:04] "GET /assets/js/ie10-viewport-bug-workar
bund.js HTTP/1.1" 404 -
* API available_channel
** 6.9 -71.77777
0: [0. 0. 0. 0.]
1: [0. 0. 0. 0. 0.]
2: [0. 0. 0. 0. 0. 0.]
3: [0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
4: [0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
5: [0. 0. 0. 0. 0. 0. 3.]
6: [0. 0. 0. 0. 0. 3. 0.]
7: [0. 0. 0. 0. 3. 0. 3.]
8: [0. 0. 0. 3. 0. 3. 0.]
9: [0. 0. 3. 0. 3. 0. 2.]
10: [0. 3. 0. 3. 0. 2. 0.]
11: [3. 0. 3. 0. 2. 0. 2.]
12: [0. 3. 0. 2. 0. 2. 0.]
13: [3. 0. 2. 0. 2. 0. 0.]
14: [0. 2. 0. 2. 0. 0. 0.]
15: [2. 0. 2. 0. 0. 0. 4.]
16: [0. 2. 0. 0. 0. 4. 0.]
17: [2. 0. 0. 0. 4. 0. 0.]
18: [0. 0. 0. 4. 0. 0. 0.]
```

Figura 23 resultado de TVWS en un punto indicado

4.3.4 JSON

JavaScript Object Notation o comúnmente denominado (JSON) es un formato basado en texto el cual permite representar datos estructurados en sintaxis de objetos de JavaScript, esto quiere decir que con una sintaxis en un archivo de texto se pueden ejecutar parámetros de Java Script. Por lo general es utilizado para transmitir datos en aplicaciones web como por ejemplo, él envió de algún dato hacia un servidor o viceversa, estos datos pueden ser mostrados en páginas web por su cualidad ser interpretados como líneas de comandos JavaScript.[16]

El formato JSON puede representar cuatro tipos de datos primitivos lo cuales son: números, valores nulos, booleanos, y cadenas asimismo utiliza dos tipos de datos estructurados los cuales son objetos y arreglos, en este orden de ideas podemos definir a las cadenas como una secuencia de ceros o más caracteres, un objeto como una colección desordenada de cero o más pares, un objeto como la combinación entre un nombre y una cadena, y un valor que puede contener un número , un booleano un objeto nulo o simplemente un texto, el diagrama de la sintaxis del Valor de un JSON se puede observar en la Figura 24. [16][17]

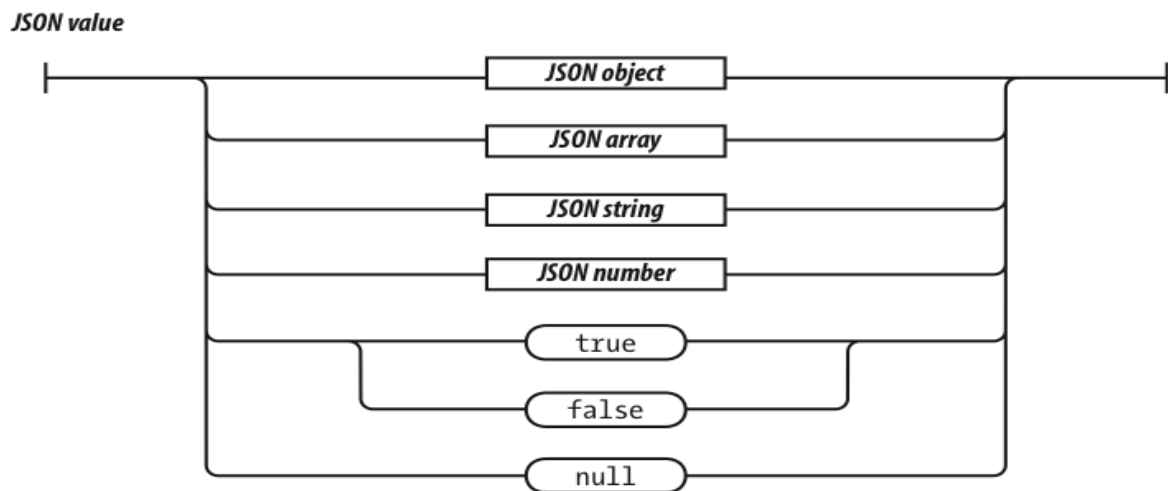
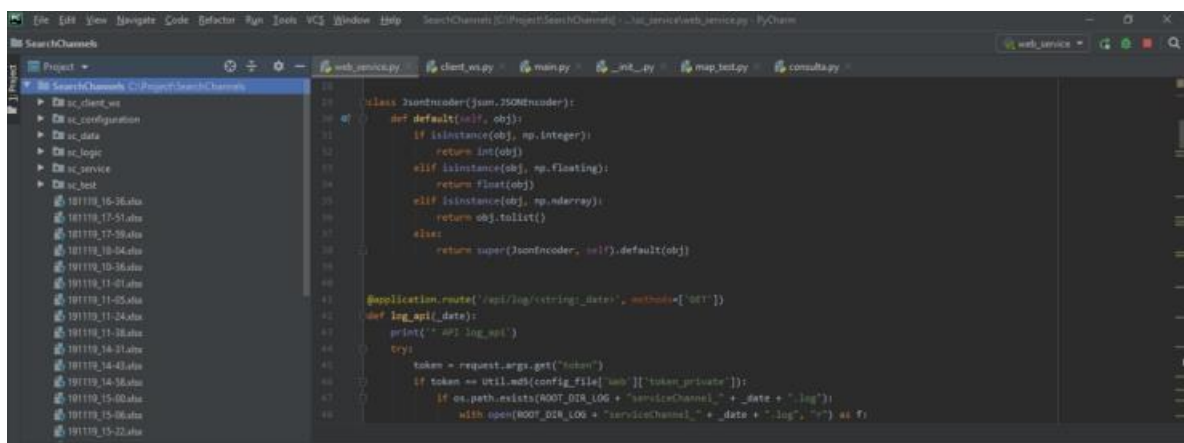


Figura 24 Sintaxis de un JSON [8]

En primer lugar, se definieron 3 procesos para la ejecución, recepción y envío de datos al servidor localmente las cuales establecieron de la siguiente manera:

- Inicio del servicio web para realizar la consulta: En este proceso se ejecuta el servicio web del servidor, ya que es indispensable dado que encargado del envío de las longitudes y latitudes que se van a consultar
- Carga del archivo JSON: En este proceso se realiza la carga del archivo JSON dentro de un archivo CSV el cual soporta el servidor y al cual se le permiten hacer múltiples consultas dentro de este CSV
- Escritura del archivo de consulta: En este proceso cuando el servidor culmina su etapa de procesar la información, este genera un archivo en formato CSV para su visualización

Respecto al primer proceso se identifican los parámetros para de inicio para que el servidor web pueda cargar, se ejecuta en el archivo con la extensión .py en el programa PyCharm tal y como se muestra en la Figura 25



```
18 class CustomJSONDecoder(json.JSONDecoder):
19     def default(self, obj):
20         if isinstance(obj, np.integer):
21             return int(obj)
22         elif isinstance(obj, np.floating):
23             return float(obj)
24         elif isinstance(obj, np.ndarray):
25             return obj.tolist()
26         else:
27             return super(CustomJSONDecoder, self).default(obj)
28
29 @application.route('/api/log/string_data', methods=['GET'])
30 def log_api_data():
31     print("API log_api")
32     try:
33         token = request.args.get("token")
34         if token == util_md5(config_file["web"]["token_private"]):
35             if os.path.exists(ROOT_DIR_LOG + "serviceChannel_" + _date + ".log"):
36                 with open(ROOT_DIR_LOG + "serviceChannel_" + _date + ".log", "a") as f:
```

Figura 25 inicio del web service bajo PyCharm

Respecto al segundo proceso se realiza la carga del archivo en formato CSV que contiene el JSON con las latitudes y longitudes de los puntos a evaluar, en este caso son las IEO, tal y como se muestra en la Figura 26.

```

point,name
{"lat": -4.22293, "long": -69.98372}, "I.E. TECNICO AGROPECUARIA
{"lat": -4.22293, "long": -69.97472}, "CENTRO EDUCATIVO LA RETIRADA
{"lat": -4.22293, "long": -69.96572}, "I.E. TECNICA MARIA IMPACULADA DE PITAL DE MEGUA
{"lat": -4.22293, "long": -69.95672}, "INSTITUCION EDUCATIVA TECNICA AGROPECUARIA DE CAMPECHE
{"lat": -4.22293, "long": -69.94772}, "I.E. SAN ANTONIO DE PIOJO
{"lat": -4.22293, "long": -69.93872}, "I.E. TECNICA AGROPECUARIA LA CANCLARIA
{"lat": -4.21393, "long": -69.98372}, "INSTITUCION EDUCATIVA TECNICA AGROINDUSTRIAL ORIENTAL
{"lat": -4.21393, "long": -69.97472}, "INSTITUCION EDUCATIVA FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
{"lat": -4.21393, "long": -69.96572}, "INSTITUCION EDUCATIVA DE SIABARCO
{"lat": -4.21393, "long": -69.95672}, "INSTITUCION EDUCATIVA CARRETO
{"lat": -4.21393, "long": -69.94772}, "INSTITUCION EDUCATIVA TECNICO AGRICOLA JUAN DOMINGUEZ ROMERO
{"lat": -4.21393, "long": -69.93872}, "INSTITUCION EDUCATIVA SAN JOSE DE SACO
{"lat": -4.21393, "long": -69.93872}, "INSTITUCION EDUCATIVA PALMAR DE CANDELARIA
{"lat": -4.20493, "long": -69.98372}, "INSTITUCION EDUCATIVA ARROYO DE PIEDRA EL BUEN PASTOR
{"lat": -4.20493, "long": -69.97472}, "I.E. TECNICA AGROPECUARIA DE PUERTO GIRALDO
{"lat": -4.20493, "long": -69.96572}, "INSTITUCION EDUCATIVA ANTONIA SANTOS
{"lat": -4.20493, "long": -69.95672}, "INSTITUCION EDUCATIVA TECNICA AGROPECUARIA NUESTRA SEÑORA DEL CARMEN DE PENDALES
{"lat": -4.20493, "long": -69.94772}, "CENTRO EDUCATIVO SAN JUAN DE TOCAGUA
{"lat": -4.20493, "long": -69.93872}, "INSTITUCION EDUCATIVA DE ALGODONAL
{"lat": -4.19593, "long": -69.98372}, "INSTITUCION EDUCATIVA SAN JOSE DE AGUADA DE PABLO

```

Figura 26 Archivo texto plano con el JSON de la solicitud de puntos

Asimismo, luego de tener el formato JSON en texto plano, este se debe guardar con la extensión .csv y guardarlo en la ruta de origen donde se encuentre instalado el servidor, adicionalmente se escribe el nombre del archivo en la línea de comando subrayada en amarillo tal y como se observa en la Figura 27

```

14 #list_coordinates = [{"point": {"lat": 5.72258, "long": -72.84912}, "name": "Nogolí"},
15 # {"point": {"lat": 4.43842, "long": -74.84454}, "name": "Bugota"},
16 # {"point": {"lat": 4.20275, "long": -79.78784}, "name": "Panamá"},
17 # {"point": {"lat": 12.54824, "long": -81.72812}, "name": "Sanandres"}]
18
19 with open('Consulta.csv') as f:
20     reader = csv.DictReader(f)
21     list_coordinates = list(reader)
22
23 workbook = xlwt.Workbook(datetime.datetime.now(), strftime("%Y-%m-%d-%H"))
24 worksheet = workbook.add_worksheet()
25
26 col0 =
27
28 worksheet.write(row, col, "latitud")
29 worksheet.write(row+1, col, "longitud")
30 worksheet.write(row+2, col, "nombre")
31 worksheet.write(row+3, col, "Sitios en Colombia")
32 print("----- Start Cities -----")
33
34 for location in list_coordinates:
35     print("----- Start -----")
36     with open('Consulta.csv') as f

```

Figura 27 carga del archivo CSV a PyCharm

Por último, el servidor después de realizar el cálculo de canales disponibles generara un archivo en formato CSV en la ruta que se está trabajando como raíz tal y como se observa en la Figura 28.

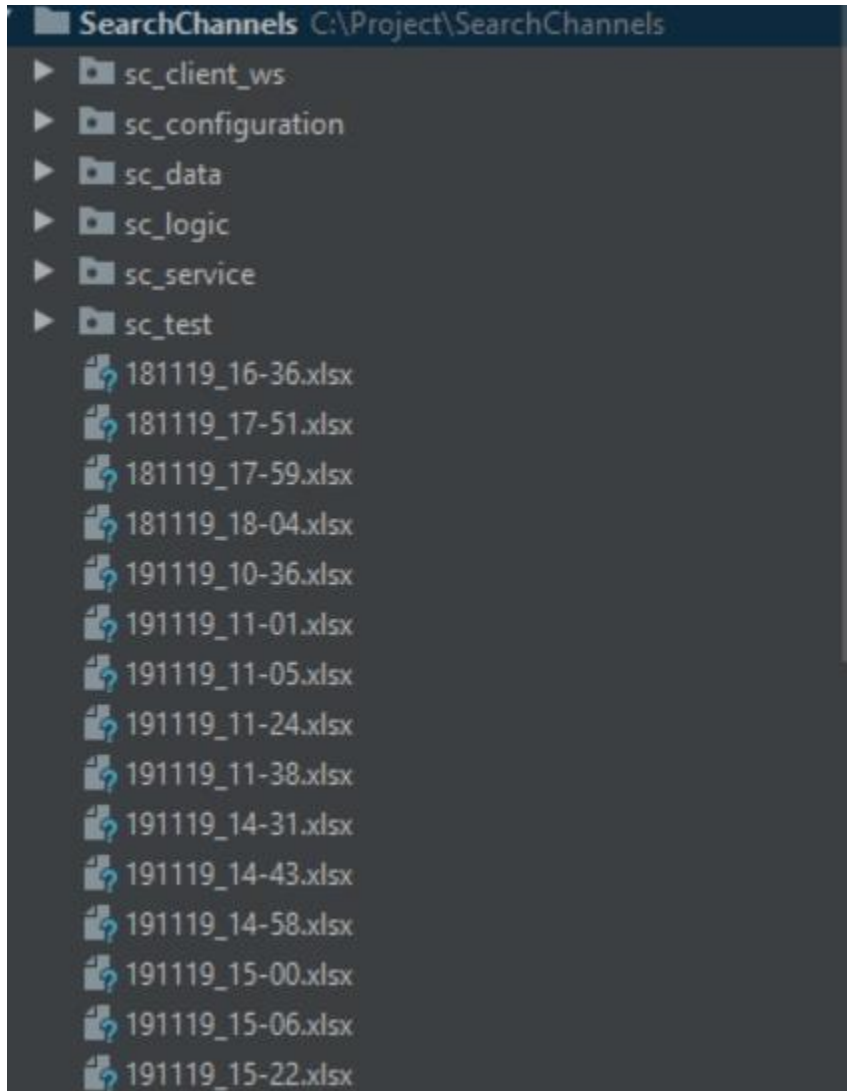


Figura 28 resultado de la base de datos

4.4 Establecer la herramienta para la base de datos geográfica que permita establecer el número de canales disponibles.

La consulta hacia la plataforma del modelo de la base de datos se hará ingresando la longitud y latitud de la zona que se desea verificar, a través de una IP pública, tal y como lo describe la Figura 29. En esta consulta el servidor indicará si se tiene viabilidad para la implementación de TVWS, ingresando los datos se enviará una petición al servidor en formato JSON, luego de ello este le devolverá unos valores sobre la lista de canales disponibles que este posee, donde si retorna un "0", significa que el canal está disponible, y por ende si retorna un 1, es porque el canal no se encuentra disponible

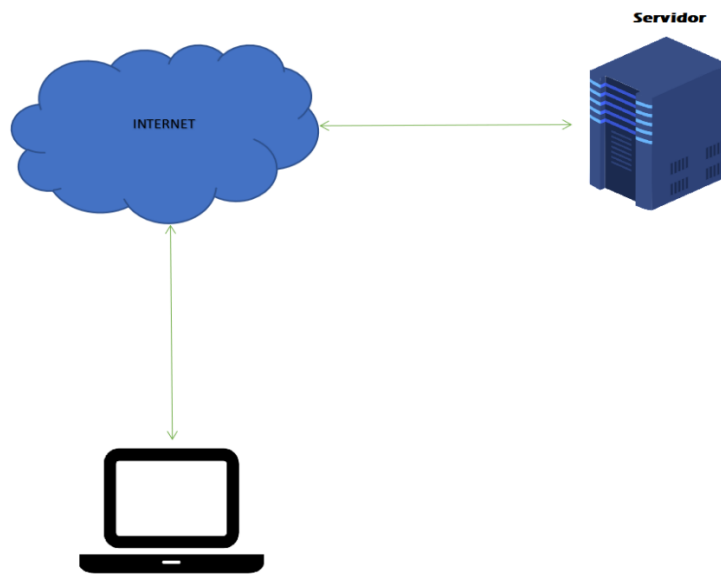


Figura 29 Modelo Cliente – Servidor para la consulta del modelo de cálculo.

4.5 Herramientas que permitan construir la base de datos de IEO, y visualizar todos puntos geográficos del mapa colombiano

Para la realización del objetivo de esta investigación, se optó por generar una base de datos de las IEO de Colombia y graficarlas en una herramienta digital y gratuita, esto con el fin de poder observar donde están ubicadas y realizar un estudio de conectividad entre las instituciones que están incluidas en el plan de gobierno AUS y las instituciones que no hacen parte de este plan. Para ello se creó una base de datos en Excel, en los cuales se agregó una serie de campos, estas celdas contienen la información básica de la IEO, como lo es: nombre de la IEO, dirección, municipio en el cual reside, zona en la cual está ubicado (zona rural o zona urbana), el estado actual del establecimiento, el código otorgado por el DANE, teléfono de la sede y el docente directivo de la institución, esto con el fin de que en próximos estudios se logre fácilmente el contacto con los directivos de las distintas instituciones para realizar el despliegue las TVWS.

Teniendo claro los campos necesarios como la longitud y la latitud para poder establecer una ubicación precisa de la IEO. Pero surgió una pregunta problema ¿Como se realiza un levantamiento de información precisa de estas IEO para realizar la alimentación de la Base de datos?

Para dar respuesta a esta pregunta problema, el gobierno colombiano creó una solución tecnológica para estos tipos de requerimientos, en los cuales se precisa de información concreta y específica avaladas por entidades oficiales del gobierno, alcaldías y municipios de Colombia, la cual es una página web interactiva llamada datos abiertos [18]. Esta solución creada por el gobierno nos permite acceder a datos verificables por alcaldías y municipios en temas de educación, salud, transporte, comercio, industria y turismo etc.

Con esta herramienta creada por el gobierno, se pudo acceder a datos que este poseía, fuentes confiables en las cuales se basaron para la construcción y alimentación de la base de datos y así poder dar solución a esta la pregunta problema formulada el esquema de esta base de datos ve reflejada en la Figura 30

NOMBRE_DEPTO	NOMBRE_MUNICIPIO	COD_DANE	NOMBRE_ESTABLECIMIENTO	ZONA	DOCENTE_DIRECTIVO	DIRECCION	TELEFONO	SECTOR	ESTADO_ESTA
Magdalena	Santa Marta	847001000035	INSTITUCION EDUCATIVA DISTRITAL NUEVO AMANECER CON DIOS	URBANA	N/A	BARRIO TIMAYUI II ZONA CAMUN	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	847001000023	I.E.D. PEDAGÓGICO DEL CARIBE	RURAL	N/A	TRONCAL DEL CARIBE VIA BONDA	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	447001050839	INSTITUCION EDUCATIVA DISTRITAL DE PALOMINITO	RURAL	N/A	TRONCAL DEL CARIBE KM. 71.9	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	447001003407	INSTITUCION EDUCATIVA DISTRITAL AGROINDUSTRIAL DE MINCA	RURAL	N/A	CORREGIMIENTO DE MINCA	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	347001005138	IED PANTANO	URBANA	N/A	CARRERA 46 NO 12-09	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	347001001337	CENTRO EDUCATIVO DISTRITAL ANTONIO ESCOBAR CAMARGO	RURAL	N/A	CARRETERA VIA A MINCA	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	347001000047	IED MADRE LAURA	URBANA	N/A	KR 8 5 25	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001053715	I.ED KOGI DE MLUKWAKUNGUI	URBANA	N/A	CUENCA MEDIA DEL RIO DON DIEG	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001051712	I.E.D. BUENOS AIRES	RURAL	N/A	VEREDA BUENOS AIRES	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001051534	CENTRO EDUCATIVO DISTRITAL AEROMAR	RURAL	N/A	CALLE 159 Nº 38-09	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001050953	IED JULIO JOSE CEBALLOS OSPINO	RURAL	N/A	TRONCAL DEL CARIBE KM 54	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001050937	INSTITUCION ETNOEDUCATIVA DISTRITAL ZALEMAKU SERTUGA	RURAL	N/A	RESGUARDO INDIGENA KOGI ARUH	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001050902	CENTRO EDUCATIVO DISTRITAL DON JACA SEDE BAJA	RURAL	N/A	KM 19 CARRET CIENAGA	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001006610	INSTITUCION ETNOEDUCATIVA DISTRITAL BUNKWIMAKE	RURAL	N/A	REG.IND.KOGI-ARZARIO-ARAHUAI	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001006598	IED JESUS ESPELETA FAJARDO	RURAL	N/A	CRA 7 NO. 116A-71 BARRIO LA PAZ	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001006512	IED DE BONDA	RURAL	N/A	CALLE 5 NO. 23-A-12 BONDA CENT	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001006199	I E D AGROECOLOGICA SAGRADO CORAZON DE JESUS	RURAL	N/A	VEREDA VISTA NIEVE CORR MINC	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001005745	I.E.D. MOSQUITO	RURAL	N/A	VEREDA MOSQUITO	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001005052	IED TAGANGA	URBANA	N/A	CALLE 10 NO 1-32 TAGANGA	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001003939	INSTITUCION EDUCATIVA DISTRITAL BEATRIZ GUTIERREZ DE VIVES	URBANA	N/A	CLLE. 13B # 16-73	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001002924	I.E.D. EL MAMEY	RURAL	N/A	CARRET TRONCAL DEL CARIBE KM	N/A	OFICIAL	ACTIVO
Magdalena	Santa Marta	247001002711	IED SIMON BOLIVAR	URBANA	N/A	CARRERA 10 NO. 18-83 GAIRA	N/A	OFICIAL	ACTIVO

Figura 30 alimentación de la base de datos

De esta manera podemos continuar con el estudio de estas instituciones educativas oficiales, luego de obtener los datos de: nombre de la IEO, la dirección en qué departamento está ubicado y el municipio, son suficientes datos para poder determinar la ubicación de esta institución visualmente, pero, ¿Cómo se ubican estas IEO en el mapa?

De igual forma, para entender cómo se visualizan puntos en el mapa se deben abarcar dos conceptos fundamentales los cuales son la Georreferenciación y la Georreferenciación inversa, ya que con estos podemos describir un punto en el espacio y localizarlo.

La georreferenciación se define como *“un neologismo que refiere al posicionamiento con el que se define la localización de un objeto espacial (representado mediante punto, vector, área, volumen) en un sistema de coordenadas y datum determinado.”*

[19] en este orden de ideas se puede concluir del autor que la georreferenciación no, es más que un mecanismo en el cual se le puede dar una localización a un objeto en el espacio y visualizarlo en un sistema de coordenadas.

De acuerdo a esto tenemos que tener claro el concepto de que es un sistema de coordenadas el cual se define como “...*un sistema que referencia cualquier punto de la superficie terrestre y que utiliza para ello dos coordenadas angulares, latitud (norte o sur) y longitud (este u oeste), para determinar los ángulos laterales de la superficie terrestre con respecto al centro de la Tierra y alineadas con su eje de rotación.*” [20]

Asimismo, se debe tener el segundo concepto clave descrito en párrafos anteriores, la georreferenciación inversa la cual está definida como (*“El proceso de asignación a partir de unas coordenadas geográficas conocidas una dirección física o topónimo. Este proceso permite la identificación de direcciones postales, lugares o subdivisiones territoriales tales como parajes, barrios, códigos postales, municipios, provincias o país a partir de un par de coordenadas XY”*). [21]

De acuerdo con lo anterior la manera más adecuada de realizar la ubicación de estos datos es con la georreferenciación inversa, ya que la base de datos cuenta con información necesaria para realizarla, como lo es la dirección, el municipio y el departamento en la que la IEO se ubica, por ende, se realizó un estudio de las herramientas que permiten esta georreferenciación inversa de las cuales se obtuvieron las siguientes opciones:

- Google Maps
- ArcGIS
- OpenGeocoding
- OpenCage

Se definió que el software más apropiado para usar es Google maps, puesto que se pueden realizar 25000 consultas diarias gratuitas y adicionalmente, deja graficar las ubicaciones en el mapa de Google y por su facilidad de manejo en entorno web. A continuación, podemos observar las ilustraciones del proceso de georreferenciación inversa en Google maps. Adjuntado la base de datos en formato .csv

Por estas razones podemos evidenciar el proceso de como Google maps ejecuta su geocodificación inversa, lo primero que se debe hacer es crea un mapa nuevo y tenemos que agregar una capa en la cual se importara el archivo de Excel en formato CSV, tal y como se observa en la Figura 31.

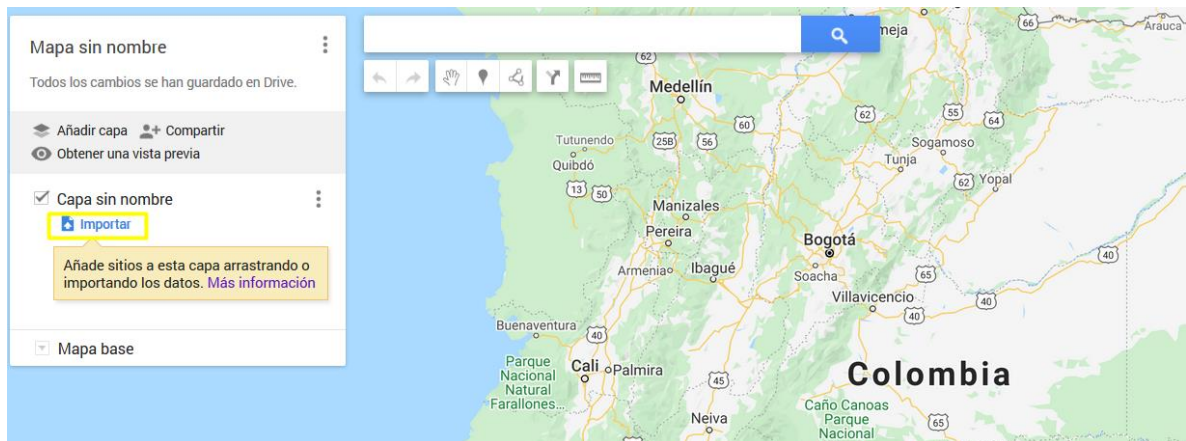



Figura 31 Proceso de geocodificación inversa en Google Maps.

Luego de importar la capa, se adjuntó la base de datos de las IEO de Colombia en formato CSV ya que Google solo permite adjuntar formatos de archivos CSV, XLSX, KML y GPX. Tal y como se muestra en la Figura 32, el software nos pregunta las columnas de posición en la cual ellas contienen la información de ubicación de las IEO, se optó por tomar 3 tipos de columnas para reducir el margen de error por la herramienta los cuales fueron: Nombre del municipio. Nombre del departamento, nombre del establecimiento y la dirección. Con estos

datos Google puede dar una geocodificación inversa consultando su motor de base de datos.

Selecciona columnas para colocar las marcas de posición

Selecciona las columnas de tu archivo que nos indican dónde se deben colocar las marcas de posición en el mapa como, por ejemplo, direcciones o pares de latitud y longitud. Se importarán todas las columnas.



The screenshot shows a selection interface with a list of columns and their corresponding checkboxes. The selected columns are highlighted with a yellow box:

- NOMBRE_DEPTO ?
- NOMBRE_MUNICIPIO ?
- COD_DANE ?
- NOMBRE_ESTABLECIMIENTO ?
- ZONA_IE ?
- DOCENTE_DIRECTIVO ?
- DIRECCION ?
- TELEFONO ?

At the bottom, there are three buttons: "Continuar" (blue), "Atrás" (grey), and "Cancelar" (grey).

Figura 32 Proceso de geocodificación inversa en Google Maps, selección de datos.

Por lo tanto, una vez realizado el proceso de selección de los datos para visualizar los puntos de las IEO, se define el título que estos van a mostrar en el mapa, como se muestra en la Figura 33 se escogió el nombre de la institución que tiene la Base de datos para mostrar en el punto

Selecciona una columna que quieras utilizar como título para tus marcadores

Selecciona una columna que quieras utilizar como título para las marcas de posición como, por ejemplo, el nombre de la ubicación o de la persona.

NOMBRE_DEPTO ?

NOMBRE_MUNICIPIO ?

COD_DANE ?

NOMBRE_ESTABLECIMIENTO ?

ZONA_IE ?

DOCENTE_DIRECTIVO ?

DIRECCION ?

TELEFONO ?

Finalizar Atrás Cancelar

Figura 33 Proceso de geocodificación inversa en Google Maps, índice del punto inicial

Por estas razones se finaliza el proceso de geocodificación inversa dando como resultado la longitud y latitud de los puntos en los que las IEO se encuentran ubicadas en Colombia, se realizó un filtrado en la base de datos para poder observar las instituciones educativas que cubría este plan de Acceso Universal Sostenible Tal y como se muestra en la Figura 34.

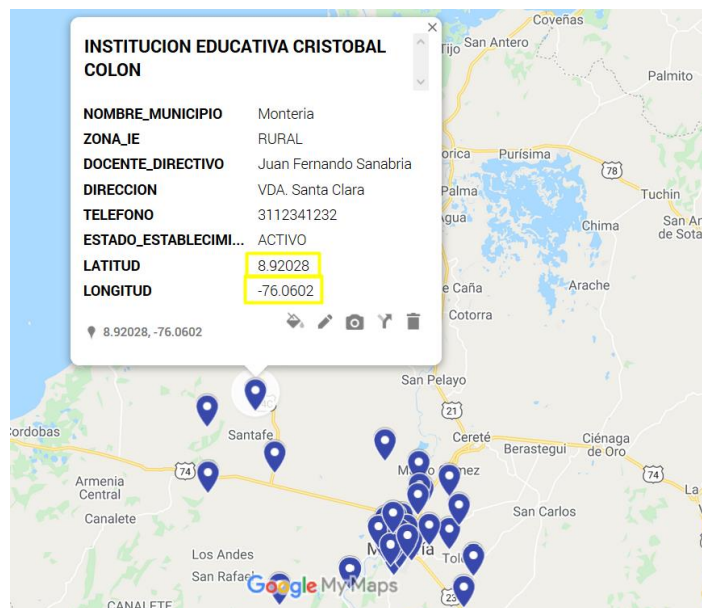


Figura 34 Proceso de geocodificación inversa en Google Maps, resultado de geocodificación, con latitud y longitud

De esta manera podemos observar que, la georreferenciación inversa nos ayuda a determinar la latitud y longitud de estos puntos que tenía la base de datos como direcciones, una vez obtenidos los puntos de latitud y longitud se escriben en la base de datos, y se envían al modelo de cálculo de huecos espectrales en televisión (TVWS)

4.6 Disponibilidad de canales TVWS en las IEO

Para ir concluyendo, se seleccionaron 50 IEO de Colombia, de los departamentos que no se encuentran en el plan del gobierno AUS, tal y como se expuso en la Tabla 3. Se evaluó la disponibilidad de huecos espectrales que presentan cada uno de estos departamentos, el ancho de banda promedio, el máximo ancho de banda que puede llegar a tener una IEO de la muestra, el mínimo ancho de banda que puede tener la IEO y asimismo el promedio de canales disponibles para estas regiones.

En este sentido, se realizaron consultas a la BDEB de las IEO mediante su longitud y latitud para obtener el número de canales disponibles, estos datos se realizaron sobre el rango del canal 14 al canal 51, proporcionando así los valores de ancho de banda, ancho de banda promedio y mayor ancho de banda de la institución.

En cuanto al cálculo del ancho de banda de una IEO se calcula mediante la Ecuación 1, donde *C.T* hace referencia al número de canales totales disponibles en TVWS que cuenta la institución multiplicado por el ancho de banda de un canal de televisión.

$$\text{Ancho de banda} = \left(\left(\sum C.T \right) * 6\text{MHz} \right)$$

Ecuación 1

Posteriormente, se procede a calcular el ancho de banda promedio como lo describe la Ecuación 2 el cual consiste en el valor medio de transferencia de datos que puede alcanzar una IEO del departamento.

$$\text{Ancho de banda promedio} = \frac{\sum \text{Ancho De Banda}}{\text{Numero de sumandos}}$$

Ecuación 2

Finalmente, para el cálculo del máximo ancho de banda que logra tener una IEO en un departamento objetivo, se tomó en cuenta el máximo de canales disponibles que la BDEB proporcione por institución, para el cálculo de canales promedio que una institución en la región llegase a tener se utilizó la Ecuación 3, en donde se realiza la sumatoria de los canales disponibles sobre el numero de sumandos de estos canales.

$$\text{Canales promedio} = \frac{\sum \text{Canales disponibles}}{\text{Numero de sumandos}}$$

En la Figura 35 se puede apreciar que el municipio que tiene un promedio de ancho de banda más alto es Caquetá, seguido de Guaviare y choco, los cuales alcanzaron un límite mayor a 100 Mbps, y las regiones que tienen el más bajo promedio de ancho de banda son Putumayo y Arauca con un ancho de banda promedio de 75 Mbps

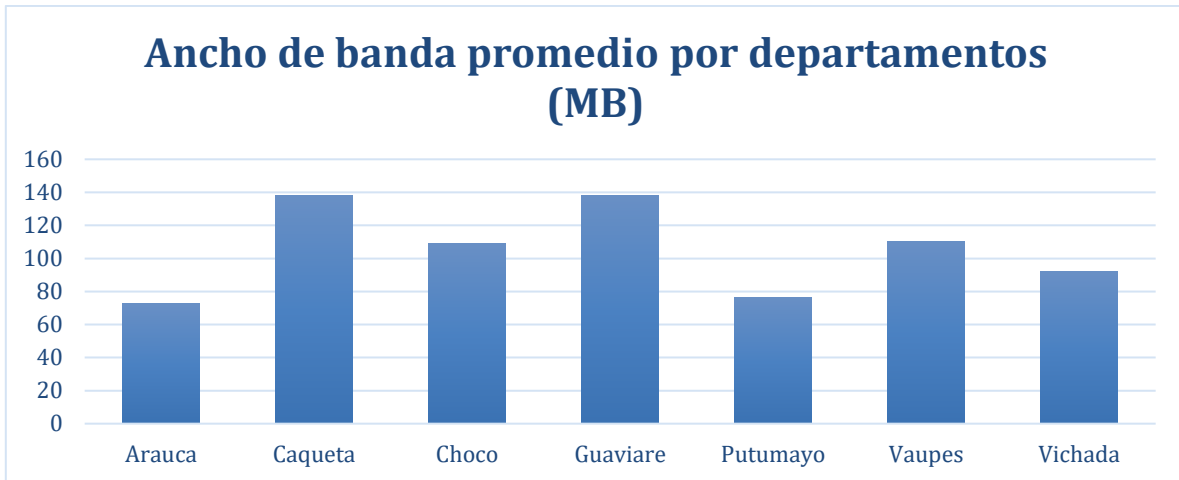


Figura 35 ancho de banda promedio por departamentos

Asimismo, se evaluó el máximo ancho de banda que logro una IEO en el departamento, en los cuales se observan que una IEO de Guaviare y Caquetá, alcanzan un ancho de banda máximo de 160 Mbps, y las que tuvieron menor ancho de banda fueron Putumayo y Vichada tal y como se observa en la Figura 36.

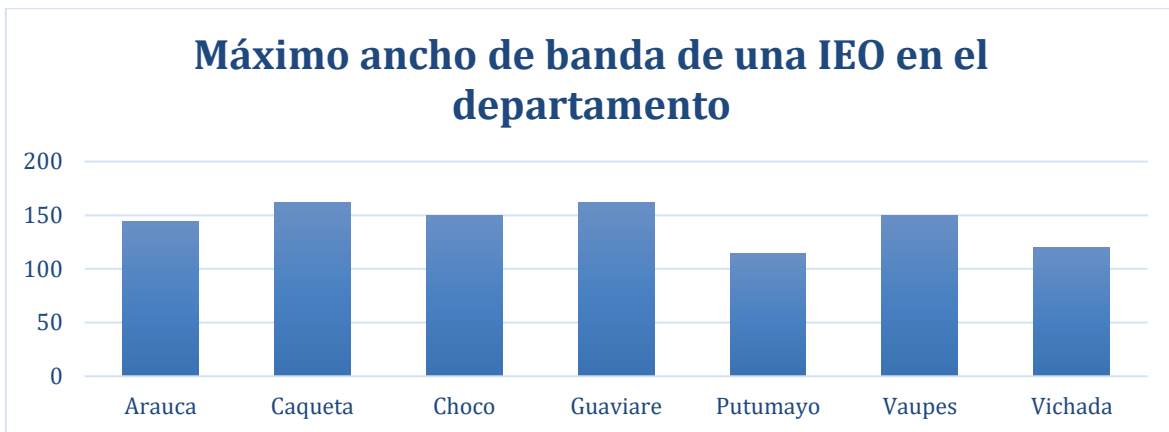


Figura 36 Máximo ancho de banda alcanzado por una IEO en el departamento

Para terminar, se realizó un promedio de canales por departamento tal y como se observa en la Figura 37 en la cual se detalla que las regiones de Caquetá y Guaviare son las que en promedio poseen más disponibilidad de canales, por su

parte los departamentos de Arauca y Putumayo son las que menos tienen de los demás departamentos.

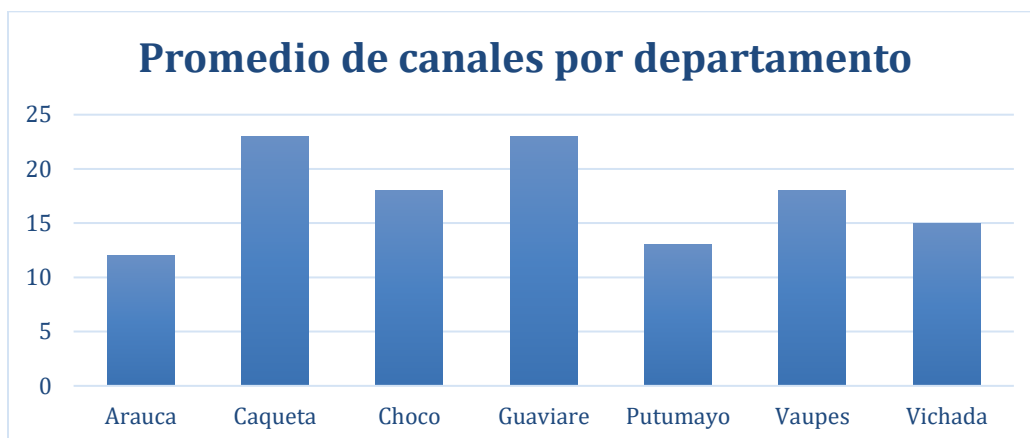


Figura 37 Promedio de canales disponibles por departamento

5. Conclusiones

El modelo de cálculo realizado por la universidad Santo Tomás, facilitó el desarrollo de la investigación debido a que, dada una longitud y latitud del territorio colombiano, podía determinar si estas coordenadas contaban con un canal de hueco espectral disponible.

La geocodificación inversa permitió alimentar la base de datos, puesto que solo se contaba con direcciones o veredas de las IEO en territorio colombiano. La geocodificación inversa facilitó el uso del modelo de cálculo instalado en la Universidad Santo Tomás.

Un despliegue de TVWS en los departamentos de Caquetá y Guaviare tendría un uso eficiente del espectro electromagnético dados los resultados que arrojaron estos en la investigación. En los otros departamentos se obtuvieron un promedio mayor a 10 canales disponibles para las IEO, lo implica una oportunidad para la conectividad de las zonas rurales en estos departamentos.

Para realizar el proceso de geocodificación inversa con grandes volúmenes de datos, es necesario obtener una licencia paga de los proveedores de servicios como lo es Google maps, de lo contrario el proceso deberá realizarse punto por punto.

Para trabajos futuros se optó por dejar información importante que facilite la identificación de la IEO, para un posible despliegue de esta solución.

Actualmente en Colombia la brecha digital en IEO rurales sigue siendo elevada pese a las acciones del gobierno por tratar de reducirlas, el estudio da información que en los municipios analizados se puede llegar a obtener una conectividad de condiciones óptimas y lograr reducir este déficit digital.

6. Bibliografía y fuentes

- [1] C. Daza Tache y ANE, “Espacios en Blanco”, núm. nivel 1, 2017.
- [2] Ministerio de Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones, “Boletín Trimestral de las TIC (Julio de 2018)”, pp. 1–52, 2018.
- [3] “¿Qué es el espectro radioeléctrico? - ENACOM”. [En línea]. Disponible en: https://www.enacom.gob.ar/-que-es-el-espectro-radioelectrico-_p117. [Consultado: 21-ene-2020].
- [4] “Porcentaje de Matrícula oficial con conexión a internet - Ministerio de Educación Nacional de Colombia”. [En línea]. Disponible en: <https://www.mineducacion.gov.co/portal/micrositios-institucionales/Conexion-Total/Conexion-Total-en-Cifras/348154:Porcentaje-de-Matricula-oficial-con-conexion-a-internet>. [Consultado: 21-ene-2020].
- [5] DANE, “Boletín Técnico Indicadores básicos de tenencia y uso de Tecnologías”, pp. 1–29, 2019.
- [6] L. S. S. K. Puri, Jens Zander, “Analysis of Interference from Secondary System in TV White Space”, 2012.
- [7] M. Suarez, “Tecnología espacios en blanco”, *Andicom Congr. Int. TIC*, p. 22, 2016.
- [8] ANE, “Agencia Nacional del Espectro | Inicio”. [En línea]. Disponible en: <http://www.ane.gov.co/SitePages/Inicio.aspx>. [Consultado: 20-ene-2020].
- [9] República de Colombia, “Constitución Política de la República de Colombia de 1991”, p. 154, 1991.
- [10] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Directrices de política y aspectos económicos de asignación y uso del espectro radioeléctrico*. 2016.
- [11] ANE, “Resolución 461 de 2017”, *Online*, p. 12, 2017.
- [12] G. Roncancio, “Sistema cognitivo de petición de canales disponibles en la

banda de frecuencia de 470 MHz a 698 MHz para el despliegue de IOT”, 2017.

- [13] “MinTIC anuncia inicio de nuevo proyecto que conectará 1.000 zonas rurales en el país - Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones”. [En línea]. Disponible en: https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-101504.html?_noredirect=1. [Consultado: 21-ene-2020].
- [14] “Anaconda Python/R Distribution - Free Download”. [En línea]. Disponible en: <https://www.anaconda.com/distribution/>. [Consultado: 27-feb-2020].
- [15] “Empresa - JetBrains”. [En línea]. Disponible en: <https://www.jetbrains.com/es-es/company/>. [Consultado: 27-feb-2020].
- [16] “Trabajando con JSON - Aprende sobre desarrollo web | MDN”. [En línea]. Disponible en: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/JavaScript/Objects/JSON>. [Consultado: 20-ene-2020].
- [17] “JSON: ¿Qué es JSON?, ¿Cómo se usa? y ¿Para qué sirve JSON?” [En línea]. Disponible en: <https://frontendlabs.io/1490--json-que-es-json-parse-json-stringify>. [Consultado: 20-ene-2020].
- [18] “Datos Abiertos Colombia | Datos Abiertos Colombia”. [En línea]. Disponible en: <https://www.datos.gov.co/>. [Consultado: 27-feb-2020].
- [19] D. C. Seguel y Revista, “EL MUNDO SEGÚN GOOGLE. GOOGLE EARTH Y LA CREACIÓN DEL DISPOSITIVO GEOSEMÁNTICO GLOBAL”, núm. March, pp. 25–27, 2005.
- [20] “Sistema de Coordenadas Geográficas: Longitud y Latitud | AristaSur”. [En línea]. Disponible en: <https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-longitud-y-latitud>. [Consultado: 27-feb-2020].
- [21] I. M. Honduvilla, “GeoCoder para CartoCiudad”, 2017.

[22] Resolución 461, "Por la cual se modifica la resolución 711 de 2016 para establecer las condiciones de uso de los dispositivos de espacios en blanco", ANE, 2017.

[23] ArcGIS, «Documentación de ArcGIS,» Ayuda de ArcGIS Online, [En línea]. Available: <http://doc.arcgis.com/es/arcgis/online/reference/georeference.htm>