

2020

## Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web

Tomas Felipe Gómez Vergara  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_electrica](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica)



Part of the [Electrical and Electronics Commons](#)

---

### Citación recomendada

Gómez Vergara, T. F. (2020). Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_electrica/577](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/577)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Eléctrica by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).



**“Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”**

**Tomas Felipe Gomez Vergara**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA  
2020**

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

**Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.**

**Tomas Felipe Gomez Vergara**

**TESIS DE INVESTIGACIÓN PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR  
POR EL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**DIRECTOR:  
JHON JAIRO PÉREZ GELVES, PH. D,**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA  
2020**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma presidente del Jurado

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

## **DEDICATORIA**

A DIOS primeramente por ayudarme y permitirme llegar a cumplir esta meta,  
A mi familia por todo el apoyo incondicional en el tiempo de culminar esta etapa,  
A todas las personas que contribuyeron de una forma u otra para mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS, ya que gracias a su bendición me ha permitido llevar a cabo este trabajo, y cumplir esta meta de manera satisfactoria.

A mi familia por su incansable ayuda y deseos de llevar a cabo esta formación profesional y así desde la parte humana e intelectual contribuir a mejorar el mundo en que vivimos.

Al ingeniero Jhon Jairo Pérez Gelves, PH. D, por su dirección, orientación y apoyo en el desarrollo de este proyecto, para lograr un resultado esperado.

A la Dirección Información Operación y Mercado de la empresa XM, por brindar la información solicitada en este proyecto, de manera eficiente.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1 CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.1 Planteamiento del problema.....	13
1.1.1 Descripción del problema.....	13
1.1.2 Formulación del problema.....	14
1.2 Justificación.....	14
1.3 Alcance.....	15
1.4 Objetivos.....	15
1.4.1 Objetivo general.....	15
1.4.2 Objetivos específicos.....	16
1.5 Metodología.....	16
2 CAPITULO II. DEFINICIONES Y ESTADO DEL ARTE.....	18
2.1 Panorama mundial del uso de la energía.....	18
2.1.1 Generación de energía eléctrica a nivel mundial por región.....	20
2.1.2 Generación de energía eléctrica a nivel mundial por fuente.....	21
2.1.3 Generación de hidroelectricidad a nivel mundial.....	22
2.1.4 Generación de energía eléctrica en Colombia.....	24
2.2 Definiciones.....	26
2.2.1 Centrales hidroeléctricas.....	26
2.2.2 Pequeñas centrales hidroeléctricas.....	27
2.2.3 Sistemas de información geográfica.....	30
3 CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	31
3.1 Descripción de la metodología.....	31
3.1.1 Primera fase.....	31
3.1.2 Segunda fase.....	32
3.1.3 Tercera fase.....	32
3.2 Desarrollo del método.....	33
3.2.1 Investigación.....	33
3.2.2 Clasificación.....	34
3.2.3 Implementación.....	36
4 CAPÍTULO IV DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SIG.....	38
4.1 Softwares más utilizados para SIG.....	38
4.1.1 ArcGIS.....	38
4.1.2 QGIS.....	38
4.1.3 GvSIG.....	39
4.2 Software para implementación.....	40
4.3 Desarrollo de mapas.....	40
4.3.1 Actual.....	40
4.3.2 Fase III UPME.....	45
4.3.3 Aplicación web del SIG.....	48
4.3.4 Validación de la aplicación SIG.....	56
5 CAPÍTULO V ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	60

5.1	Análisis de datos.....	60
5.2	Encuesta de percepción de la aplicación SIG.....	62
5.3	Discusión de resultados.....	68
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	72
7	BIBLIOGRAFÍA .....	74

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Suministro total a nivel mundial de energía primaria por región 1971 a 2017...	19
Imagen 2. Suministro total a nivel mundial de energía primaria por región 1973 a 2017...	19
Imagen 3. Generación de energía eléctrica a nivel mundial por región 1971 a 2017.....	20
Imagen 4. Generación de energía eléctrica a nivel mundial por región 1973 a 2017.....	21
Imagen 5. Generación de energía eléctrica a nivel mundial por fuente 1973 a 2017.....	22
Imagen 6. Generación mundial de Hidroelectricidad 1971 a 2017. ....	23
Imagen 7. Generación mundial de Hidroelectricidad 1973 a 2017. ....	24
Imagen 8. Distribución del parque de generación eléctrica colombiano según fuentes XM y Expertos en Mercado. ....	25
Imagen 9. Componentes principales de una central hidroeléctrica. ....	26
Imagen 10. Diagrama de la metodología desarrollada.....	31
Imagen 11. Añadir mapa base. ....	40
Imagen 12. Archivo de base de datos en formato de Excel. ....	41
Imagen 13. Vinculo de la Herramienta add X, Y. ....	41
Imagen 14. Asignación de formato para visualización de coordenadas. ....	42
Imagen 15. Sistema base de coordenadas geográficas.....	42
Imagen 16. Puntos geográficos en el mapa base. ....	43
Imagen 17. Creación de archivo shapefile. ....	43
Imagen 18. Imagen de la tabla de atributos del archivo shapefile.....	44
Imagen 19. Mapa de puntos shapefile.....	44
Imagen 20. Base de datos Fase III. ....	45
Imagen 21. Carga de datos de la Fase III. ....	46
Imagen 22. Sistema de coordenadas, para la información de la Fase III.....	46
Imagen 23. Archivo shapefile para la información de la Fase III. ....	47
Imagen 24. Tabla de atributos que contiene la información de la Fase III. ....	47
Imagen 25. Mapa con la información de las PCHs actuales y las que se encuentran en la Fase III. ....	48
Imagen 26. Visualización del panel web de ArcGIS desktop. ....	48
Imagen 27. Inicio de sesión en ArcMap, por medio de las credenciales de ArcGIS desktop. ....	49
Imagen 28. Vinculo y Herramienta paquetes de mapa. ....	49
Imagen 29. Vinculo servicio de ArcMap. ....	50
Imagen 30. Parámetros del mapa. ....	50
Imagen 31. Herramienta análisis de mapa. ....	51
Imagen 32. Resultados análisis de mapa. ....	51
Imagen 33. Mapa que contiene únicamente la información de las capas creadas.....	52
Imagen 34. Herramienta publicar mapa hacia la web de ArcGIS desktop. ....	52

Imagen 35. Herramienta web: Map viewer. ....	53
Imagen 36. Mapa web adicionando el mapa base original desde ArcGIS desktop. ....	53
Imagen 37. Visualización de la tabla de atributos en ArcGIS desktop. ....	54
Imagen 38. Visualización de la etiqueta generada en ArcGIS desktop. ....	54
Imagen 39. Mapa modificado en ArcGIS desktop, resultado final. ....	55
Imagen 40. Herramienta Web App builder. ....	55
Imagen 41. Herramientas de modificación de la Interfaz gráfica de la aplicación. ....	56
Imagen 42. Aplicación web finalizada. ....	56
Imagen 43. Grafico de las pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020 en relación con los rangos de capacidad Instalada en MW. ....	60
Imagen 44. Gráfico de las pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020 en relación con el tipo de turbina identificada en su funcionamiento. ....	61
Imagen 45. Gráfico de las pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020 en relación con su año de entrada y puesta en funcionamiento. ....	62
Imagen 46. Presentación a los estudiantes de la universidad de la Salle de la aplicación web y la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020. ....	62
Imagen 47. Respuesta pregunta número uno de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020. ....	63
Imagen 48. Respuesta pregunta número dos de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020. ....	63
Imagen 49. Respuesta pregunta número tres de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020. ....	64
Imagen 50. Respuesta pregunta número cuatro de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020. ....	64
Imagen 51. Respuesta pregunta número cinco de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020. ....	65
Imagen 52. Respuesta pregunta número seis de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020. ....	65
Imagen 53. Respuesta pregunta número siete de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020. ....	66
Imagen 54. Respuesta pregunta número ocho de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020. ....	66
Imagen 55. Respuesta pregunta número nueve de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020. ....	67
Imagen 56. Respuesta pregunta número diez de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020. ....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los SIG. ....	36
--	----

## **RESUMEN**

Las pequeñas centrales Hidroeléctricas (PCHs) han sido una tecnología ampliamente conocida y aplicada en el desarrollo de fuentes no convencionales de energía en Colombia, Puesto que la implementación y uso de las PCHs abarca todo el territorio nacional, principalmente en la región Andina. A través de los años se ha venido generando una serie de información y de datos relevantes de dichas centrales. Este proyecto tiene como finalidad, realizar una consulta de información que permita establecer el inventario actual de PCHs, Estableciendo su ubicación geográfica mediante el uso de un mapa georreferenciado donde se observa con claridad las características más relevantes como: tipo de turbina, capacidad instalada, año de entrada, empresa a cargo y demás, que permitan obtener la información de manera ágil y eficiente.

En una primera parte se realizó toda la investigación pertinente, para la obtención de la información, en una segunda instancia se realizó el proceso de manejo y organización de los datos encontrados, generando la base de datos de las pequeñas centrales hidráulicas que se encuentran en funcionamiento en la actualidad, incluyendo las centrales que están asociadas a la Fase III de la unidad de planeación minero energética.

La implementación en la herramienta computacional que permite tener acceso a la información de manera clara y eficaz, se realizó en el software de mayor conocimiento por parte del autor, por medio de un proceso de trabajo en el cual se adoptaron los conocimientos necesarios para el uso del mismo se implementó de manera organizada la información en el software, a su vez otorgo la creación de la aplicación web titulada: pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020, creada para visualizar el inventario actual de PCHs en Colombia.

## INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico en el mundo es altamente aprovechado para producir y generar energía eléctrica, a nivel mundial más del 70 % de la superficie terrestre está compuesta por agua, si se estimará en diámetro de esferas. Se estima que el total de agua a nivel mundial es de 1.385 km de diámetro de la esfera, la cantidad de agua dulce es 272,8 km de diámetro de la esfera, mientras que los ríos y lagos tienen un 56,2 km (H.sostenible, 2013).

La energía hidroeléctrica con una capacidad instalada a nivel mundial de 1,292 GW produce casi dos tercios de la generación de electricidad renovable del mundo, En 2018 alcanzó un estimado de 4.200 TWh, estableciendo así la mayor contribución de una fuente de energía renovable, la asociación internacional de hidroelectricidad establece que la región de Asia oriental y el pacífico mantienen su posición como la de mayor crecimiento con 9,2 GW de nueva capacidad instalada, le siguen Sudamérica con 4,9 GW, Asia Central y del sur 4 GW y Europa con 2,2 GW (Hidroelectricidad, 2019).

La tecnología utilizada para la generación hidroeléctrica se mantiene igual durante este siglo. Una central hidroeléctrica requerirá forzosamente la construcción de un embalse o de un canal en derivación, por esta razón la obra civil y el impacto ambiental son grandes condicionantes en el diseño y construcción de estas centrales. En una mini central, puede estar presente un embalse o bien no ser necesario, al obtenerse el salto de energía directamente sobre el curso de un río, ventaja que permite disminuir el impacto ambiental y el costo de su implementación (IDAE, 2006).

La importancia de la formulación de proyectos que involucran pequeñas centrales Hidroeléctricas se debe a que en el futuro próximo los sistemas de potencia tendrán una alta penetración de energías renovables y generación distribuida específicamente PCHs. Este tipo de energía tiene asociada una alta incertidumbre debido a la naturaleza de la fuente primaria de generación. Las primeras aproximaciones de sistemas con mayor influencia de energías renovables serán las microgrids. Para operar estos sistemas, los operadores de red deberán contar con herramientas que determinen los mejores puntos de operación para la red de las fuentes renovables (Molina , Perez, & Rivera, 2017).

## 1 CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

En Colombia a través de los años se han venido impulsando y ejecutando diferentes proyectos de implementación de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCHs) a lo largo del territorio Nacional, el panorama actual respecto al uso de fuentes de generación para el abastecimiento energético plantea la incursión de fuentes de energía renovables, dando entrada a las PCHs como un mecanismo que permite aprovechar el potencial hídrico del país. Debido a esto es necesario poder tener una visualización cómoda y eficiente de la información relacionada con dichas centrales que permita procesar sus datos más relevantes.

#### 1.1.1 Descripción del problema.

Para satisfacer la demanda actual de electricidad, es necesario producir considerablemente una cantidad de energía a nivel mundial bastante elevada, esto sumado al aumento en los mercados internacionales para la comercialización de energía eléctrica, además del inevitable agotamiento de los recursos y el envejecimiento de las redes actuales, han ocasionado que en los últimos años se produzca un importante impulso para el desarrollo de generación de electricidad por medio de fuentes renovables de energía que ha permitido incrementar su aporte a nivel mundial (Romero, 2009).

La energía representa uno de los mayores costos de producción en cualquier sector económico ya sea industrial o agrícola, una de las formas más económicas y limpias de generar energía es por medio del recurso natural hídrico, esto debe plantearnos utilizar dicho recurso de una manera eficiente, ya que se trata de un tipo de energía que se caracteriza por los siguientes factores: Es renovable; es decir no se agota la fuente principal al explotarla. El agua una vez cumple su función sigue su cauce por los ríos. Es limpia; no produce ningún tipo de sustancia contaminante en el proceso de generación. Es sostenible desde un punto de vista medioambiental. No hay que olvidar que la energía hidroeléctrica supone un 20% de la electricidad generada en todo el mundo (Iagua, 2015).

Las PCHs brindan posibilidad de energización en diferentes lugares, surgen como una clase emergente de tecnología de energía renovable que permite aprovechar pequeñas cantidades de agua en movimiento que circulan por los ríos de manera tal que el flujo de agua al pasar por las turbinas, provoca un movimiento de rotación que se transforma en energía eléctrica por medio de generadores. Hoy en día se encuentran en desarrollo diferentes estudios de optimización e implementación de Pequeñas Centrales hidroeléctricas a nivel nacional e

internacional que pretenden mejorar la calidad de energía que producen y así expandir este tipo de generación como una propuesta viable y eficiente.

En la actualidad se requiere de un consolidado de PCHs que se encuentran en funcionamiento o que simplemente están proyectadas para su construcción. Es necesario tener acceso a la información de manera gráfica y visual y de esta manera comprender mejor el avance de dichas plantas, para poder realizar diferentes estudios sobre características específicas de las mismas, ya sea: Tipo de turbina, capacidad instalada, localización geográfica y demás variables. Permiten realizar proyecciones futuras desde la academia o la inversión para ejecutar soluciones energéticas sencillas que sean viables desde el punto de vista ambiental y de bajo costo, y logren satisfacer la futura demanda energética producto del crecimiento poblacional, económico e industrial del país.

### 1.1.2 Formulación del problema

La implementación en una herramienta computacional del inventario actual de las PCHs, permitirá contar con un medio de difusión gráfico del uso de PCHs en Colombia.

## 1.2 Justificación

La importancia de la información para los diferentes estudios que es necesario llevar a cabo desde la academia como desde la práctica uso he implementación de proyectos de ingeniería, radica en que es un recurso esencial para la búsqueda constante de optimización solución e innovación de proyectos, herramientas o ámbitos del sector eléctrico, para buscar un crecimiento efectivo en el desarrollo de la ingeniería. De acuerdo a lo anterior una opción viable para permitir el crecimiento y valor de este recurso tan importante está dado en integrarlo y tenerlo disponible en el momento adecuado para que pueda ser utilizado de manera ordenada y eficiente.

Las herramientas computacionales e informáticas en la actualidad juegan un papel fundamental para integrar información, datos y conocimientos de interés que aporten en nuestro caso información relevante acerca de cuál es el inventario actualizado de las pequeñas centrales hidráulicas en Colombia y de esta manera tener disponible la información de las mismas, si bien en la actualidad se cuenta con la información necesaria de dichas centrales, es necesario implementar una herramienta que permita agilizar la consulta de dicha información, de manera visual, ágil y eficaz.

Para el manejo, uso y eficiencia de la información disponible, en la actualidad existen los sistemas de información geográfica (SIG), sistemas empleados para describir y categorizar la tierra y otras geografías con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente, es una herramienta que permite visualizar sobre determinada zona cuál es la ubicación precisa, en este caso en relación con las PCHs que se encuentren allí, permite de manera rápida tener una ubicación exacta de la central hidráulica y poder observar los datos de la misma, para ahorrar tiempo en la búsqueda detallada de la información.

### 1.3 Alcance

Este proyecto de grado se enmarca en el tema de manejo eficiente de la información, para realizar una planeación desde la academia como desde el ejercicio profesional, su alcance y delimitación están entendidos en: investigación, procesamiento de la información, manejo de software y difusión. Para actualizar el inventario de PCHs se realiza una compilación de información de fuentes disponibles en la Unidad De Planeación Minero Energética (UPME), la empresa de operación y administración del sector eléctrico (XM) junto con fuentes de información confiables de las bases de Datos de grandes entidades del sector eléctrico colombiano. Debido a la profundidad y complejidad de toda la información, se estableció un tratamiento de los datos de acuerdo a las características de cada una de las PCHs, es decir: Tipo de turbina, capacidad instalada, año de entrada y puesta en funcionamiento, empresa a cargo y localización Geográfica, y así realizar la implementación en la herramienta computacional, que permita tener una visualización en la web con el fin de contar con un medio de difusión gráfico del uso de PCHs en Colombia.

### 1.4 Objetivos

#### 1.4.1 Objetivo general

Implementar en una herramienta computacional que permita visualizar en la web, el inventario actual de las PCHs en Colombia.

#### 1.4.2 Objetivos específicos

- Actualizar el inventario de las PCHs que se encuentran en operación en Colombia y clasificarlas de acuerdo a sus características (capacidad efectiva, Tipo de turbina, año de entrada y puesta en funcionamiento, Localización Geográfica, Empresa a cargo).
- Elaborar un mapa SIG que presente las PCHs existentes y las que se encuentren en la UPME en Fase III.

#### 1.5 Metodología

Para satisfacer efectivamente los objetivos planteados, este proyecto se basa en una metodología de tres fases, en cada una de ellas se realiza una serie de procedimientos: investigación, clasificación y implementación, cada fase se encuentra detallada a continuación, donde se observa cada uno de sus respectivos enfoques.

##### Fase 1: Investigación

Para desarrollar la actualización del inventario de PCHs en Colombia, es esencial obtener la información detallada, acerca de cuáles son las pequeñas Centrales de generación a nivel nacional, realizar la investigación de cuáles son las PCHs que han sido instaladas en las diferentes regiones de Colombia que aún se encuentran activas y en funcionamiento, es decir que aportan energía relevante para satisfacer la demanda nacional, asociada al sistema interconectado nacional (SIN) o en las zonas no interconectadas (ZNI). La unidad de planeación minero energética (UPME) realiza proyecciones a futuro para aumentar la capacidad de generación, es necesario consultar cuales son las centrales que se encuentran proyectadas en la fase III. Complementando la información obtenida hasta este punto se investigan cuáles son las principales características de las pequeñas centrales de generación, Para estudios futuros.

## Fase 2: Clasificación

Esta fase tiene como propósito realizar una clasificación precisa, acerca de la información más relevante de las pequeñas centrales de generación, con la finalidad de facilitar la comprensión detallada de la información por parte de los usuarios que tendrán acceso a la visualización en el medio de difusión gráfico. El año de entrada y puesta en funcionamiento de las centrales, permite comprender cuales son las grandes empresas que realizan inversiones y permanecen activas a lo largo de los años en este tipo de tecnología. Las características más utilizadas cuando se consultan centrales de generación, se encuentran asociadas a: su capacidad efectiva; para satisfacer la demanda ligada a cada central se establece una capacidad propia. Ubicación geográfica; para la obtención del recurso hídrico las centrales están localizadas de manera geográfica, específicamente que las identifica en el territorio nacional. Cuando se habla de generación de electricidad por medio de recursos hídricos, se asocia la generación a un tipo de turbina que aprovecha la energía contenida y asociada a los ríos cercanos a esta, determinar el tipo de turbina que utiliza cada central, permite realizar estudios que establecen opciones viables de implementaciones futuras de PCHs.

## Fase 3: Implementación

Para realizar la implementación de la información en la herramienta computacional que permita visualizar el sistema de información geográfica, se mencionan los tres software más utilizados a nivel mundial en SIG, se hace uso del software sobre el cual el autor tiene mayor conocimiento y desempeño para la implementación en la herramienta computacional, se realiza la consulta y apropiación del conocimiento necesario para cumplir el objetivo final del uso del software, y así generar en la herramienta computacional, la inclusión de la información que permite visualizar el inventario actual de PCHs en COLOMBIA.

Para obtener el concepto crítico acerca de la implementación en la herramienta computacional, se genera una encuesta de percepción que se aplica a usuarios relacionados con el ambiente académico, que aportan su concepto personal en cuanto a la visualización web del inventario actualizado de PCHs en COLOMBIA.

## 2 CAPITULO II. DEFINICIONES Y ESTADO DEL ARTE

En este capítulo, se presenta un panorama mundial y nacional relacionado a la producción de energía y en particular con el uso del recurso hídrico para la generación de energía eléctrica. Posteriormente se definen conceptos usados en este trabajo de grado, y una revisión de la información, en artículos de la literatura internacional y nacional asociados a las pequeñas centrales hidráulicas y los sistemas de información geográfica.

### 2.1 Panorama mundial del uso de la energía

El suministro de energía a nivel mundial ha presentado un crecimiento a través de los años, como se observa en la Imagen 1; la producción de energía se encuentra dividida en diferentes regiones consideradas por colores: el ítem que se encuentra de color azul cielo hace referencia a la producción de energía por parte de la organización para la cooperación y el desarrollo económico es decir la organización intergubernamental que reúne a 34 países comprometidos con las economías de mercado y con sistemas políticos democráticos, que en conjunto representan el 80% del PIB mundial (Oecd, 2019).

Esta organización se encuentra entre la mayor productora de energía, sin embargo en países y continentes existen productores independientes fuera de la OECD, como es el caso de los ítems en colores; azul claro que hace referencia a la producción en Europa y Eurasia, el ítem de color rojo para la producción en Asia y el de color verde para la producción en América. En lugares como África referenciada con el ítem de color morado y medio oriente de color naranja se tiene una gran capacidad de producción, junto con China con el ítem de color amarillo que aumentó considerablemente en los últimos años. El ítem de color gris permite observar la producción por parte de los barcos cargueros que se ha mantenido constante en el tiempo.

Suministro total a nivel mundial de energía primaria

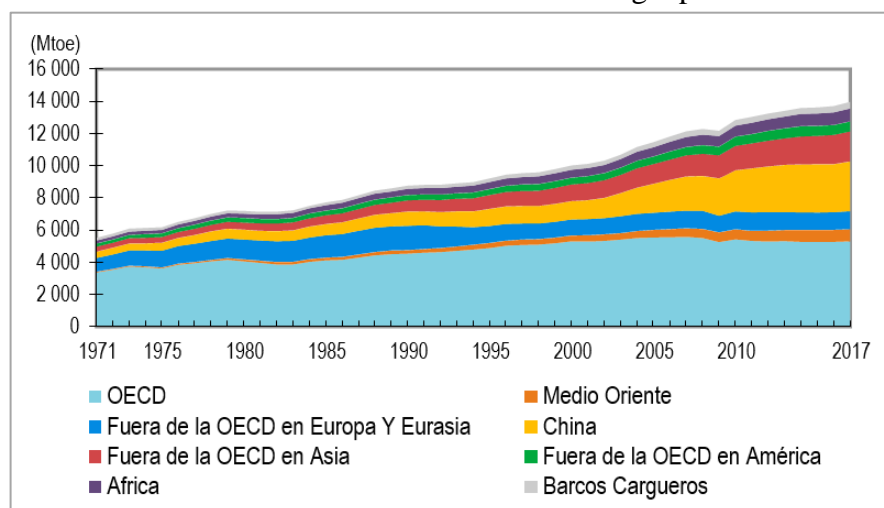


Imagen 1. Suministro total a nivel mundial de energía primaria por región 1971 a 2017

Fuente (IEA, 2019)

La producción de energía primaria se encuentra medida en Mega toneladas equivalentes de petróleo (Mtoe), cuyo valor equivale a la producción de energía que en relación rinde una tonelada de petróleo, la medida de generación de energía eléctrica se da en Tera vatios hora (TWh), estas dos unidades son establecidas de manera independiente, aunque ambas hacen mención a la energía, se utilizan en contextos diferentes una de la otra.

La producción de energía a nivel mundial, es un reto que los países tienen que afrontar si buscan mejorar el abastecimiento de todas las demandas energéticas actuales, a través de los años se han creado estrategias para mejorar el suministro y producción de energía, como se observa en la imagen 2, el crecimiento que se tiene desde el año 1973 en relación con el año 2017 Es el doble, la producción del año 1973 corresponde a un valor de 6.097 Mtoe, en relación con los 13.972 Mtoe para el año 2017, evidencia la alta demanda energética que se tiene en la actualidad.

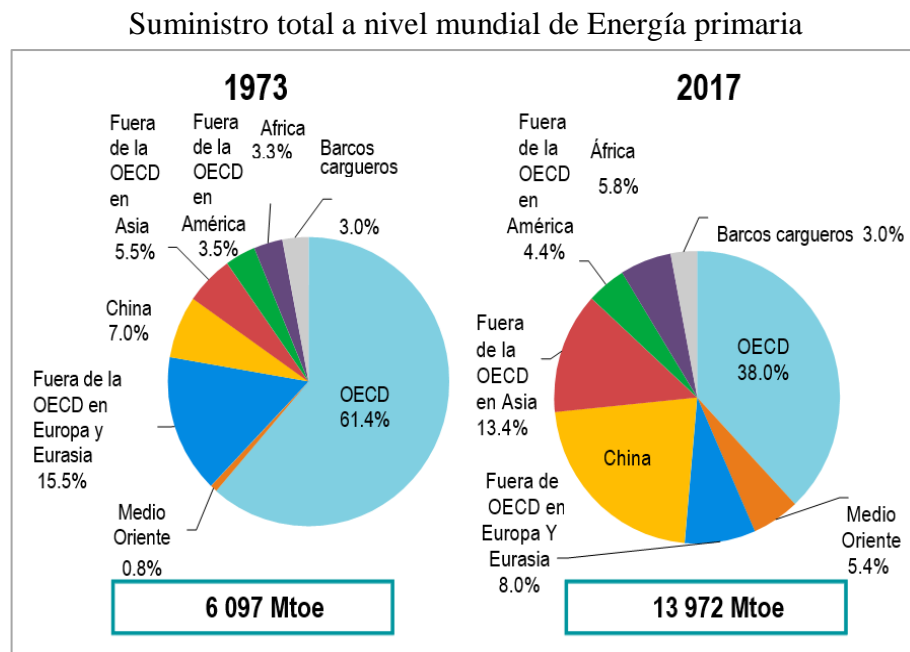


Imagen 2. Suministro total a nivel mundial de energía primaria por región 1973 a 2017.

Fuente (IEA, 2019)

### 2.1.1 Generación de energía eléctrica a nivel mundial por región

Como se observa en la imagen 3, la generación de energía eléctrica se encuentra dividida en diferentes regiones, consideradas por colores: el ítem que se encuentra de color azul cielo hace referencia a la generación de electricidad por parte de la OECD, de igual manera que sucede con la producción de energía a nivel mundial, existe la generación de electricidad fuera de la OECD en países como Europa y Eurasia de color azul claro, el ítem de color rojo para la generación en Asia y el de color verde para la generación en América que ha tenido un auge notable en los últimos años, en África referenciada con el ítem de color morado, se observa como ha aumentado la capacidad de generación. Cabe destacar que países como medio oriente de color naranja y china de color amarillo, para satisfacer las demandas de electricidad de toda su población, industria y grandes metrópolis, han tenido un crecimiento notable en la generación de energía eléctrica.

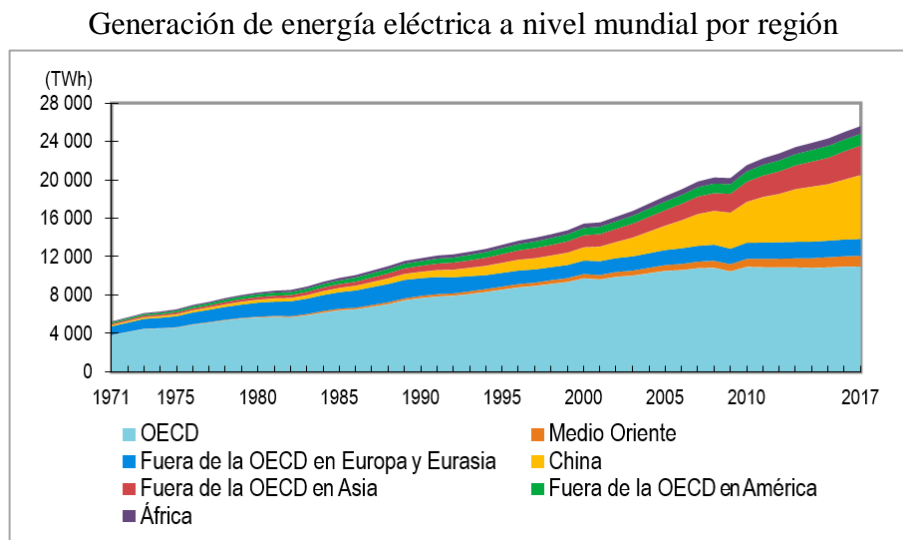


Imagen 3. Generación de energía eléctrica a nivel mundial por región 1971 a 2017.

Fuente (IEA, 2019)

La imagen 4 muestra la producción de energía eléctrica del año 1973 con un valor de 6.131 TWh, dicho valor en relación con el año 2017 establece un incremento considerable cuya producción de energía eléctrica a nivel mundial es de 25.606 TWh. Evidenciando el incremento de más de 19.475 TWh, que representa un aumento de más del (300%) en un tiempo de cuarenta y cuatro años, esto permite hacer una idea de lo relevante que es la planeación energética a nivel mundial. En este lapso de tiempo de cuarenta y cuatro años la distribución a nivel mundial de regiones ha tenido una variación considerable, el caso de china que ha tenido un incremento del 23%, por otro lado la OECD tuvo una disminución

del 29,8%, ya que la eficiencia energética, produce una sustitución industrial, permite deducir que fuera de la OECD se ha optado por invertir en la generación de electricidad de manera independiente, por otro lado para el caso de América esta tuvo un incremento del 2%.

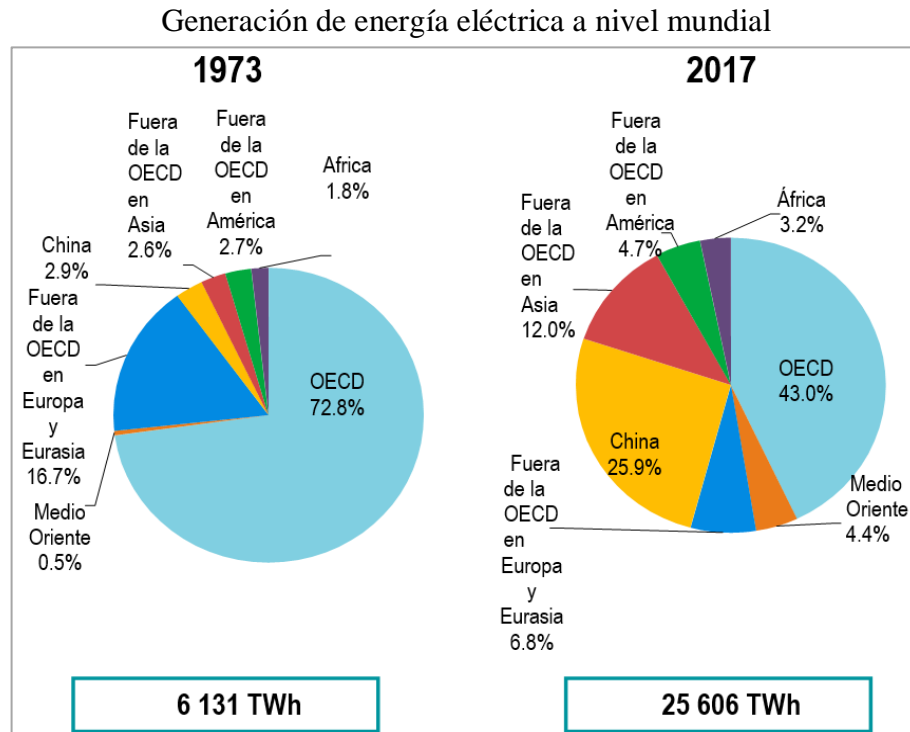


Imagen 4. Generación de energía eléctrica a nivel mundial por región 1973 a 2017.

Fuente (IEA, 2019)

### 2.1.2 Generación de energía eléctrica a nivel mundial por fuente

Para producir electricidad se han utilizado diversos recursos a través de los años, como se puede apreciar en la imagen 5, a nivel mundial se clasifican las fuentes de generación en diferentes ítems de acuerdo a su recurso de generación, el petróleo referenciado con color azul ha tenido la disminución más evidente en los últimos años con un decrecimiento del 21,5%, el cambio climático y el consumo acelerado de este recurso permite darle paso a generación como la nuclear que se encuentra en el ítem de color amarillo con un porcentaje actual del 10,3%, la generación por medio del carbón se ha mantenido constante a través de estos cuarenta y cuatro años con un 38,4%, el Gas natural aumento más del doble su participación en la generación, ya que hoy en día a través de este se genera el 23% a nivel mundial. A medida que avanza el tiempo en los últimos años se han considerado nuevas fuentes de generación, la propuesta de utilizar recursos renovables que permitan generar energía limpia y amigable con el medio ambiente ha tenido un auge notable, ya que las

fuentes renovables y los residuos han ocupado un puesto importante puesto que el avance de la tecnología a través de los años permite utilizar estos recursos de manera más eficiente, las fuentes renovables y los residuos producen el 9% de electricidad del mundo. La hidroelectricidad que utiliza el agua como recurso primario aunque ha disminuido un 5% en relación con el porcentaje mundial se ha mantenido como una propuesta viable para la generación en diferentes países.

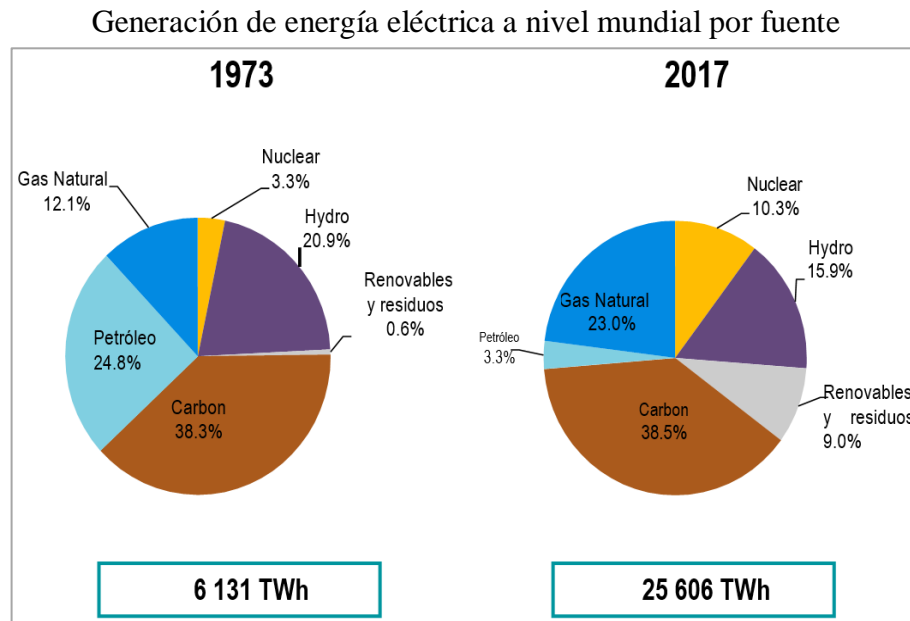


Imagen 5. Generación de energía eléctrica a nivel mundial por fuente 1973 a 2017.

Fuente (IEA, 2019)

### 2.1.3 Generación de hidroelectricidad a nivel mundial

El suministro total de hidroelectricidad a nivel mundial como se observa en la imagen 6 tuvo en el pasado un dominio amplio por parte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD). En el año 1971 en relación con el 2017 ha disminuido su porcentaje de generación por parte de esta organización, ya que países como china y continentes como América y África han apostado fuertemente por este tipo de generación, factores económicos y tecnologías para el aprovechamiento de este recurso que han sido creadas a través de los años, permiten la puesta en marcha y funcionamiento de generadores de electricidad que aprovechan el recurso hídrico de manera más eficiente.

### Generación mundial de hidroelectricidad

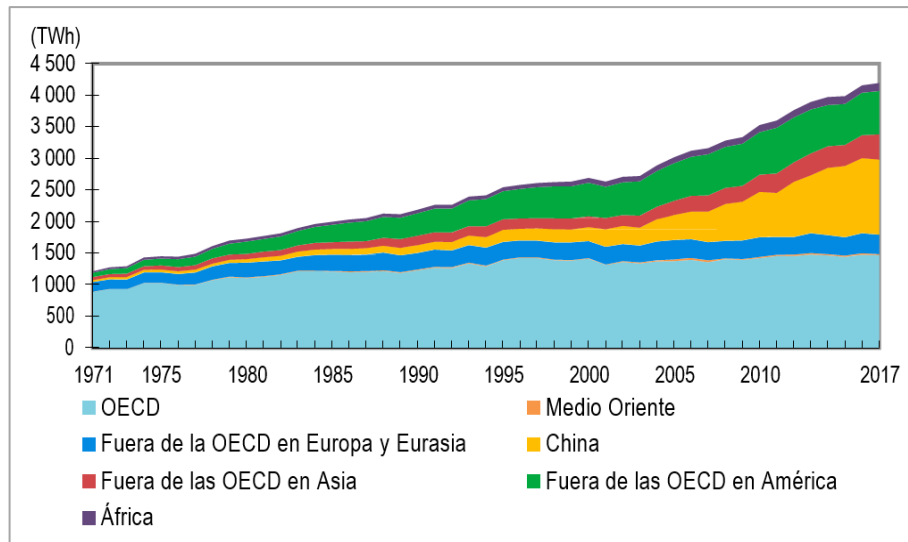


Imagen 6. Generación mundial de Hidroelectricidad 1971 a 2017.

Fuente (IEA, 2019)

La imagen 7 permite observar la variación que ha tenido la generación de hidroelectricidad en el año de 1973 en relación con el 2017, en el año 1973 su valor es de 1,296 TWh, esta cantidad ha aumentado en una manera acelerada, ha sido aproximadamente tres veces mayor en el año 2017, cuyo valor es de 4,197 TWh, esto permite observar el crecimiento que ha tenido la generación de electricidad utilizando el recurso hídrico como fuente principal.

La distribución de los productores de Hidroelectricidad a nivel mundial se ha dividido en diferentes grupos; La organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico presenta el decrecimiento más considerable, ya que debido al 36,7% que ha disminuido en estos últimos cuarenta y cuatro años junto con las regiones fuera de la OECD que se encuentran en Europa y Eurasia que disminuyeron un 4,3%, permiten a países como China un crecimiento del 25.4%, en continentes como Asia fuera de la OECD se incrementó un 5,2% dando paso a la implementación de fuentes utilizando esta forma de generación, para el caso de América fuera de la OECD aumento un 9,6%. Esto deja en evidencia que la Hidroelectricidad es una fuente de suma importancia para la generación de electricidad en continentes y países que tienen la forma adecuada de aprovechamiento del recurso hídrico, ya que la distribución en cuanto a recursos energéticos primarios permiten utilizar de manera más amplia el agua como fuente efectiva de generación.

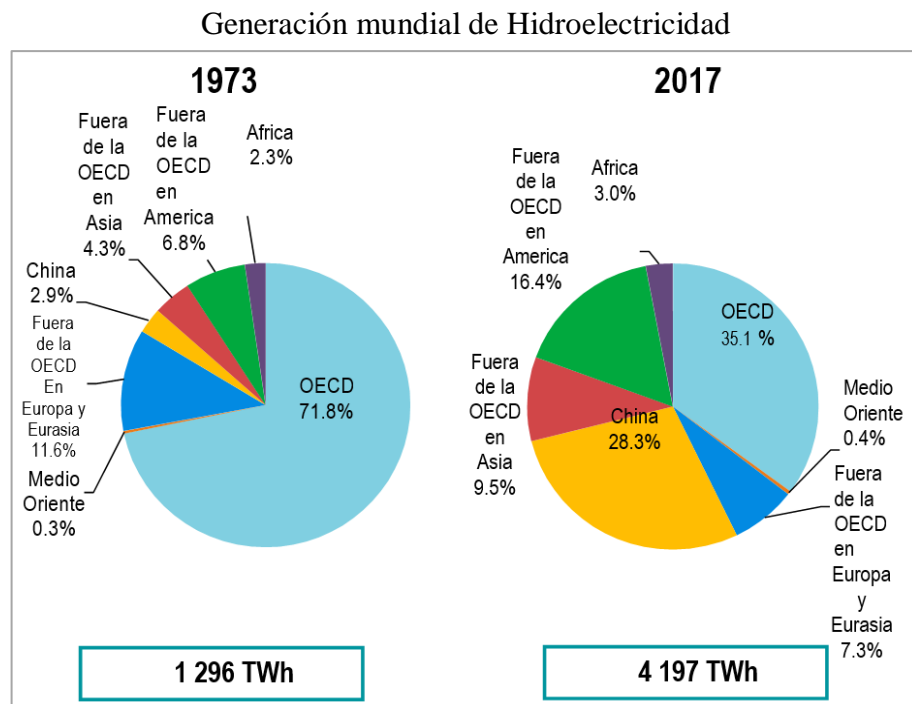


Imagen 7. Generación mundial de Hidroelectricidad 1973 a 2017.

Fuente (IEA, 2019)

#### 2.1.4 Generación de energía eléctrica en Colombia

Colombia se posiciona como uno de los países con mayor riqueza hídrica tanto a nivel global como en Latinoamérica, con una superficie de 1,141.748 km<sup>2</sup>, de tierras emergidas y 928,660 km<sup>2</sup> de áreas marítimas como reporta el ministerio de comercio, actualmente tiene un potencial hídrico notable para satisfacer las demandas generadas debido a su alta población, la capacidad efectiva neta del SIN al finalizar el año 2015 fue de 16,420 MW. En relación con el año 2014 tuvo un crecimiento en 931 MW, equivalentes al 6%. Este aumento obedece principalmente a la entrada en operación de varias centrales hidroeléctricas como: El Quimbo, Carlos Lleras, Cucuana, San Miguel, Bajo Tuluá y PROVIDENCIA y las centrales térmicas Gecelca 3 y Tasajero (XM, 2015).

La Región Andina colombiana, donde se ubica la mayor parte de la generación hidráulica. Presenta niveles de lluvia que pueden ir desde los 1500 mm anuales en los valles interandinos hasta los 4000 mm al año en los altiplanos y bosques. Unido a lo anterior, la geografía montañosa que facilita la construcción de embalses, ha propiciado que el desarrollo del sistema eléctrico se base en generación hidráulica (Upme, Estudio de generación eléctrica bajo escenarios de cambio climático, 2013).

Distribución de generación eléctrica en Colombia.

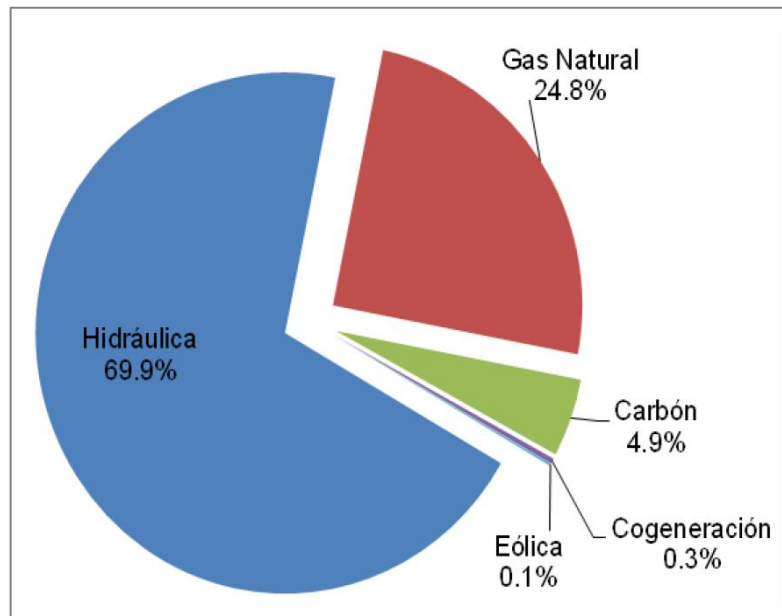


Imagen 8. Distribución del parque de generación eléctrica colombiano según fuentes XM y Expertos en Mercado.

Fuente (Upme, Estudio de generación eléctrica bajo escenarios de cambio climático , 2013)

Colombia cuenta con una capacidad instalada en generación de energía eléctrica de 16.742 MW de los cuales un 69.9% es generación hidráulica, 24.8% térmicas a gas, 4.9% térmicas a carbón, 0.4% cogeneradores y 0.1% eólicos.

Las Centrales hidráulicas en Colombia se encuentran divididas en dos categorías; Las plantas despachadas centralmente con una capacidad neta mayor o igual a 20 MW, actualmente se encuentran en funcionamiento 28 plantas de este tipo, mientras que las no despachadas con menos de 20 MW se encuentran 115 en funcionamiento (XM, 2015). Del 69,9% de generación hidráulica que corresponde a 11.702 MW, 787 MW se generan en plantas menores lo que quiere decir que aproximadamente del 100% de energía que se genera en COLOMBIA, el 4,7 % hacen referencia a las pequeñas centrales hidráulicas.

## 2.2 Definiciones

### 2.2.1 Centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que utilizan turbinas acopladas a generadores que permiten el aprovechamiento de las masas de agua en movimiento que circulan por los ríos para transformarlas en energía eléctrica (Upme, 2015).

El funcionamiento de las centrales hidroeléctricas como se observa en la imagen 9, consiste en: Una presa ubicada en el lecho de un río, acumula una cantidad de agua que forma un embalse. La energía potencial del salto generado se transforma posteriormente en Energía eléctrica. En el paramento aguas arriba de la presa se sitúan unas entradas de agua formadas por una boca de admisión o compuerta, que controla la entrada del agua a una tubería forzada, ésta atraviesa el cuerpo de la presa. El agua a presión de la tubería forzada va transformando su energía potencial en cinética, es decir va adquiriendo velocidad. Al llegar a las máquinas actúa sobre los álabes del rodete de la turbina haciéndolo girar. El rodete de la turbina está unido por un eje al rotor del generador que al girar con los polos excitados por una corriente continua, induce una corriente alterna de media tensión y alta intensidad, mediante transformadores es convertida en corriente de baja intensidad y alta tensión para poder ser enviada a la red general mediante las líneas de transmisión. El agua, una vez que ha cedido su energía es restituida al río aguas abajo de la central (Cardozo, 2011).

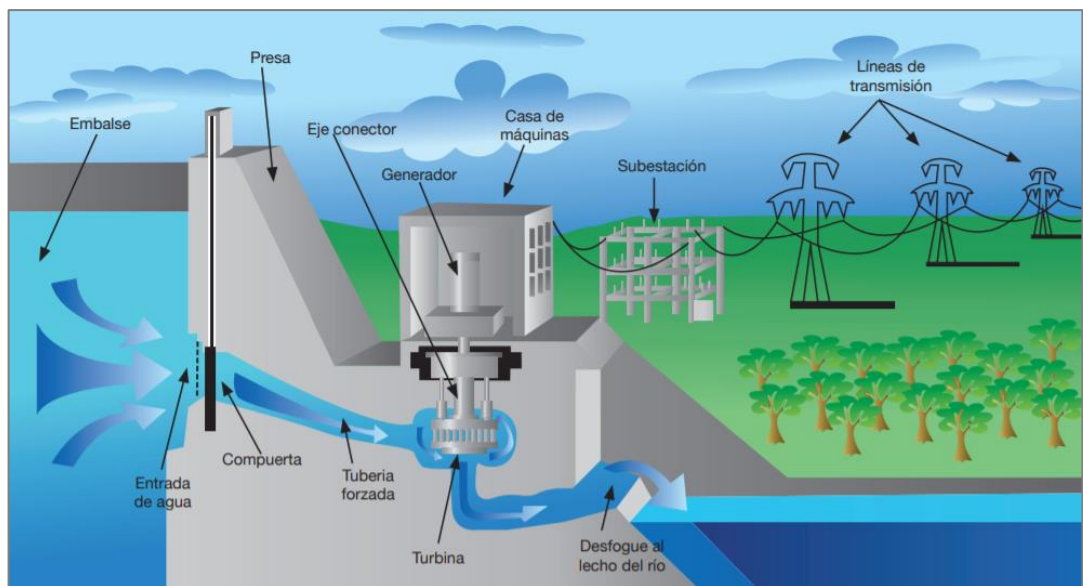


Imagen 9. Componentes principales de una central hidroeléctrica.

Fuente (Upme, 2015)

Las partes principales y los componentes de una central hidroeléctrica son:

- Presa: Se encarga de contener el agua de un río y almacenarla en un embalse. Con estas construcciones se logra un determinado nivel del agua antes de la contención, y otro nivel diferente después de la misma. Esa diferencia de niveles es aprovechada para producir energía.
- Entrada de agua o toma de agua: consiste en un ensanchamiento al inicio del conducto forzado, que facilita la entrada del agua retenida en la Presa y está diseñada para que las pérdidas de carga producidas sean mínimas.
- Compuerta: permita cortar o regular el caudal del agua. Generalmente se disponen de dos en cada toma.
- Turbina: Es el elemento que aprovecha la energía cinética y potencial del agua para producir un movimiento de rotación, que transferido mediante un eje al generador produce energía eléctrica.
- Alternador o generador: Tipo de generador eléctrico destinado a transformar la energía mecánica en eléctrica. Acoplados al eje de la turbina que gira por la acción del agua generan una corriente alterna de alta intensidad y baja tensión; esta corriente posteriormente pasa por un transformador que la convierte en alta tensión y baja corriente, apta para su transporte a grandes distancias con un mínimo de pérdidas.
- Sala de máquinas: Construcción donde se sitúan las máquinas y elementos de regulación y control de la central. Su configuración depende del tipo y números de máquinas instaladas y del tamaño de las mismas. En las instalaciones de eje vertical la estructura de la central suele dividirse verticalmente en niveles.

### 2.2.2 Pequeñas centrales hidroeléctricas

No existe un criterio único de clasificación de las centrales hidroeléctricas, ya que los valores de clasificación pueden variar según el país, sin embargo la clasificación que se tomara en este proyecto obedece a la que adoptó la UPME del Ministerio de Minas y Energía sugerida por la Organización Latinoamericana de Energía (Olade), para las centrales hidroeléctricas que se tendrán en cuenta para su clasificación en este proyecto se encuentran:

- Mini céntrales: Capacidad instalada entre 50 y 500 kW, operación a filo de agua, aplicable a zonas no interconectadas o casos aislados de zonas interconectadas.
- Hidroeléctricas (PCHs): Son las centrales en las cuales está enfocado este proyecto, ya que tienen una Capacidad instalada entre 500 y 20.000 kW, operación a filo de agua, aplicable a zonas no interconectadas y zonas interconectadas (sin posibilidad

de participar en el despacho eléctrico, menores a 500 kW y con posibilidad de hacerlo las mayores a 10.000 kW).

- Centrales hidroeléctricas (CH): Capacidad instalada mayor de 20 MW, aplicable a zonas interconectadas, con participación obligada en el despacho eléctrico.

Las denominadas (PCHs) se encuentran bastante condicionadas por las características que Presente el lugar donde vayan a ser ubicadas. Hay que tener en cuenta que la topografía del Terreno va a influir tanto en la obra civil como en la selección de la maquinaria, es por esto que existen dos clasificaciones principales.

La primera de acuerdo con la altura del salto, los aprovechamientos pueden clasificarse en:

- De alta caída: salto de más de 150 m.
- De media caída: salto entre 50 y 150 m.
- De baja caída: salto entre 2 y 20 m.

La segunda de acuerdo al emplazamiento de las pequeñas centrales hidroeléctricas se clasifica en:

- Aprovechamientos de agua fluyente: Son aquellos aprovechamientos que no disponen de embalse regulador importante, de modo que la central trabaja mientras el caudal que circula por el cauce del río es superior al mínimo técnico de las turbinas instaladas, y deja de funcionar cuando desciende por debajo de ese valor.
- Central de agua fluyente: Es aquel aprovechamiento en el que se desvía parte del agua del río mediante una toma, y a través de canales o conducciones se lleva hasta la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río.
- Central hidroeléctrica en canal de riego: Aquellas que utilizan el desnivel existente en el propio canal. Mediante la instalación de una tubería forzada, paralela a la vía rápida del canal de riego, se conduce el agua hasta la central, devolviéndola posteriormente a su curso normal en canal.

Las pequeñas centrales utilizan turbinas acopladas a generadores para producir la electricidad, Las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grupos; las turbinas de acción y las turbinas de reacción:

**Turbinas de acción:** El agua es dirigida a sus alabes a través de inyectores, que a su vez convierte la energía potencial del agua en energía mecánica con la Variación de su sección, tales como turbinas pelton y kaplan.

- Turbina pelton: Esta atribuida a Lester Allan Pelton, es el modelo más antiguo de turbina y una de las más utilizadas En el mundo, esta máquina funciona por el impacto del chorro de agua sobre sus cucharas, en las grandes instalaciones hidroeléctricas este tipo de turbinas solo es considerada para alturas mayores a 150 metros. Para aplicaciones en micro hidro energía puede ser usada para saltos mucho menores. Por ejemplo una turbina Pelton que gira a una alta velocidad de rotación puede ser usada para generar 1 KW con alturas inferiores a 20 metros, caudales más utilizados para este tipo de turbina van desde 2 a 10 m<sup>3</sup>/s (Marcos, 2009).
- Turbina Kaplan: es una turbina axial diseñada por el ingeniero austriaco Viktor Kaplan, con la diferencia de la variación del ángulo de sus palas durante su funcionamiento, la importancia de las turbinas Kaplan en pequeños saltos con grandes caudales, las hacen idóneas tanto en posición horizontal como en vertical; por su similitud con las turbinas Bulbo, empleadas tanto en centrales mareomotrices como en algunas mini centrales hidráulicas (Palma Reyes, 2018).

**Turbinas de reacción:** en estas turbinas el agua llega a los alabes a una presión superior a la Atmosférica y con una gran velocidad, se ingresa energía potencial y energía Cinética, que se trasforma en energía mecánica, es el caso de la turbina Francis.

- Turbina Francis: James B. Francis ingeniero civil británico estadounidense, invento la turbina Francis que tienen aplicación en general para saltos intermedios entre 40 m y 100 m, por lo que son las más frecuentemente empleadas en instalaciones de pequeñas centrales, ya que son capaces de aprovechar la energía estática del agua utilizando caudales entre 2 y 200 m<sup>3</sup>/s, con un 90% de eficiencia se dice que es la turbina más eficiente elaborada hasta la fecha (Blas Zamora Parra, 2016).
- Turbina Banki-Mitchell: es una turbina de acción de flujo cruzado su rango de aplicación es amplio, ocupa un lugar intermedio entre las aplicaciones de las turbinas Pelton rápidas, y las turbinas Francis lentas, las aplicaciones tradicionales de este tipo de turbinas han sido para la energía mini hidráulica; actualmente su rango de empleo se está ensanchando, y pueden encontrarse situaciones con alturas entre 1,5 y 200 m, caudales entre 0,2 y 10 m<sup>3</sup>/s, y potencias obtenidas de hasta 2 MW. (Blas Zamora Parra, 2016).

### 2.2.3 Sistemas de información geográfica

El término SIG, que en la actualidad está ampliamente difundido tanto en la geografía como en otras ciencias, en especial en aquellas vinculadas con la planificación territorial y la resolución de problemas socioeconómicos y ambientales, es de compleja definición habida, cuenta de sus capacidades técnicas y analíticas y su carácter multipropósito.

Cualquier ciencia relacionada con el espacio en especial la geografía, analiza el territorio a través de distintas capas temáticas (el suelo y sus usos, los términos municipales, la red hidrográfica, el sistema de asentamientos, las infraestructuras viarias carreteras, ferrocarriles, la distribución de equipos y servicios, toda variable que permita una ubicación geográfica propia).

El National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) de los Estados Unidos define los SIG como: un sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación (Lopez, posada, & Moreno, 1997).

Los objetivos de un SIG son:

- Almacenamiento, manejo y manipulación de grandes volúmenes de datos espacialmente referenciados.
- Proveer los medios para llevar a cabo análisis que implican, de manera específica, el componente de posición geográfica.
- Organización y administración de los datos, de tal forma que la información sea fácilmente accesible a los usuarios.
- Vinculación de diversas bases de datos.

Los SIG permiten Integrar información espacial y de otros tipos, Ofrecen un marco consistente de análisis para los datos geográficamente referenciados, nuevas y novedosas formas para manipular y desplegar datos. Y Permiten la visualización y el análisis de datos con base en las relaciones y proximidad geográficas, es decir son una herramienta completa para el uso y manejo de la información geográfica que permite la recopilación de datos, procesamiento y análisis de los mismos, lo que facilita la evaluación de la información para la toma de decisiones en una situación específica que necesite ser optimizada (INEGI, 2014).

### 3 CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

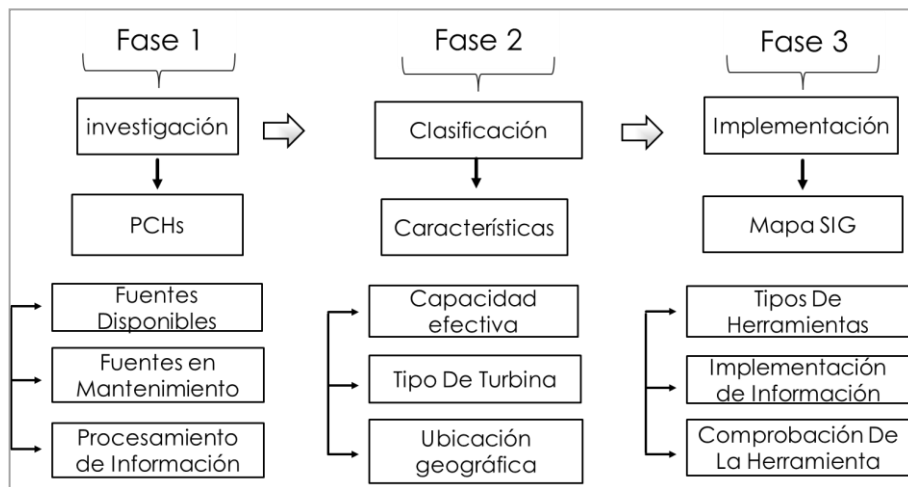


Imagen 10. Diagrama de la metodología desarrollada.

Fuente (Autor)

#### 3.1 Descripción de la metodología

En este capítulo se explica la metodología utilizada para la realización y desarrollo de este proyecto, detalladamente se presentan las fases propuestas durante la elaboración. Esto permite identificar los elementos necesarios para la Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional. Las fases y labores realizadas se describen a continuación:

##### 3.1.1 Primera fase

- Consulta de información acerca de las PCHs que han sido instaladas en el territorio nacional: Se determinaron cuáles son las PCHs que han sido instaladas a través del tiempo a lo largo de todo el territorio nacional, para tener una base de datos de cuáles son las pequeñas centrales de generación Hidroeléctricas que actualmente se encuentran en funcionamiento.
- Consulta de información acerca de las PCHs que se encuentran proyectadas en la Fase III de la UPME: Dentro de las pequeñas centrales de generación que se encuentran proyectadas en la base de datos de la UPME, se encontraron las que están contenidas en la fase III, esto con el fin de tener un panorama amplio de cuál ha sido y será el avance en el tiempo de esta tecnología.

- Procesamiento de la información necesaria para determinar características de las PCHs que se encuentran en funcionamiento: después de haber establecido cuales son las PCHs que han sido instaladas, cuales se encuentran en funcionamiento y cuales están en construcción, se realizó un consolidado de la información en una base de datos completa de todas las centrales hidráulicas para así obtener un entregable en el cual se encuentra toda la información.

### 3.1.2 Segunda fase

- Clasificación de las PCHs de acuerdo a su capacidad efectiva: inmersamente en las características de las pequeñas centrales de generación se establecen unas capacidades de generación apropiadas, para satisfacer la demanda ligada a cada central, es por esto que se realizó una clasificación de las PCHs en donde se establecen los rangos apropiados de potencia que cada central maneja.
- Clasificación de las PCHs de acuerdo a su año de entrada y puesta en funcionamiento: para tener una mayor comprensión de su puesta en marcha y funcionamiento a través del tiempo, se realizó una clasificación de las PCHs de acuerdo a su año de entrada y puesta en funcionamiento, y así se determinó cuáles son los modelos más eficientes que han sido y aún continúan siendo utilizados en la actualidad de manera activa.
- Clasificación de las PCHs de acuerdo a su tipo de turbina: Una de las características principales cuando se habla de pequeñas centrales de generación, se encuentra asociado a su tipo de turbina, debido a las condiciones ambientales en las que se encuentran ubicadas las centrales, sus condiciones de operación, caída del agua y demás permiten tener un mejor panorama acerca del tipo de tecnología implementada en cada PCH.
- Clasificación de las PCHs de acuerdo a su ubicación geográfica: para un mejor estudio de cuáles son las zonas en las que se encuentran ubicadas las pequeñas centrales de generación, fue de vital importancia realizar una clasificación desde el punto de vista de la ubicación geográfica y así visualizar cuales son las zonas de mayor afluencia de esta tecnología en la actualidad.

### 3.1.3 Tercera fase

- Herramientas más eficaces para elaboración de SIG: para elaborar el sistema de información geográfica, se tienen en cuenta los tres software más utilizados a nivel mundial en SIG, se justificó el software utilizado en este proyecto, debido a su conocimiento y manejo por parte del autor.

- Implementación de la información de las PCHs existentes y las que se encuentran en la UPME en la fase III por medio de la herramienta computacional: se realizó la implementación de toda la información anteriormente procesada por medio del software, se creó el mapa donde se encuentran ubicadas específicamente cada una de las centrales geográficamente, permitiendo observar en la web la información relevante de las PCHs y sus características esenciales.
- Adquisición del concepto de percepción de los usuarios en relación con la implementación en la herramienta computacional: Se diseñó y aplicó una encuesta de percepción a los usuarios relacionados con el ambiente académico de la comunidad de ingeniería eléctrica de la Universidad de la Salle, quienes aportaron su concepto personal en cuanto a la visualización web, generada por la implementación en la herramienta computacional de toda la información procesada en este proyecto.

## 3.2 Desarrollo del método

### 3.2.1 Investigación

#### Consulta de información acerca de las PCHs que han sido instaladas en el territorio nacional

- La consulta de información acerca de cuáles son las PCHs que han sido instaladas en el territorio nacional se realizó por medio de consultas de páginas web, inicialmente en la página oficial de XM, la cual es la filial de ISA especializada en la gestión de sistemas de tiempo real. En la planeación, diseño, optimización, puesta en servicio, operación, administración o gerenciamiento de sistemas transaccionales o plataformas tecnológicas. En XM se coordina la operación de la cadena productiva del sector eléctrico colombiano: es por esto que cuando se consultó la información, en la base de datos que la empresa tiene, se encontró dentro de la Planeación de los recursos de generación de Colombia, las plantas hidroeléctricas, térmicas y eólicas, que tienen una capacidad instalada de 13.405,7 MW.

#### Consulta de información acerca de las PCHs que se encuentran proyectadas en la Fase III de la UPME

- La unidad de planeación minero energética, realiza proyecciones de cuáles son todas las centrales que entran en funcionamiento, para mejorar el suministro de generación eléctrica que tenga participación en el sistema interconectado nacional, o que contribuya a llevar energía a zonas no interconectadas, es por esto que se consultó en la página web de la UPME, cuáles son las pequeñas centrales hidráulicas que entraran en operación en la fase III.

Procesamiento de la información necesaria para determinar características de las PCHs que se encuentran en funcionamiento

- Las pequeñas centrales hidroeléctricas tienen varias características esenciales que permiten determinar que se encuentran en funcionamiento actualmente, el procesamiento de la información encontrada inicialmente, determino que la información se encontraba de manera incompleta, ya que debido a intereses propios de las empresas del sector eléctrico que operan, manejan y tienen acceso a la información más relevante de las PCHs, debido a políticas de privacidad de la información, no hacen públicos varios datos relevantes, es por esto que fue necesario realizar la solicitud de la información de manera adicional, No obstante la información proporcionada por la empresa, debido a las razones antes mencionadas, contribuyo a la ampliación de la información de la base de datos actualizada, aunque existe información de carácter reservado que no fue posible incluir en este proyecto.

### 3.2.2 Clasificación

Clasificación de las PCHs de acuerdo a su capacidad efectiva

- Las pequeñas centrales hidráulicas de generación, tienen un valor de capacidad efectiva que se determinó, gracias a la base de datos y a la información consultada en la página web de la empresa XM, la clasificación que se realizó para cada una de las PCHs permite determinar si estas participan activamente en la generación actual de las zonas que en su mayoría se encuentran fuera del alcance del sistema interconectado nacional, y que actualmente no participan en el mercado ya que tienen una capacidad menor a los 20MW, para realizar un análisis de la información se visualizaron diferentes rangos de capacidad efectiva, y así se determinó cuántas tienen un mayor o menor porcentaje de generación.

Clasificación de las PCHs de acuerdo a su año de entrada y puesta en funcionamiento

- El año de entrada y puesta en funcionamiento permite estimar cuales son las centrales que se encuentran actualmente activas y que se han mantenido a través del tiempo, es por esto que la clasificación se realizó sobre la base de datos proporcionada por la página web de la empresa XM, allí se especifica cual es la fecha de entrada de cada una de las PCHs, se determinó cuáles son las que se encuentran vigentes, comprendiendo un lapso de tiempo desde el año 1925 hasta la actualidad.

#### Clasificación de las PCHs de acuerdo a su tipo de turbina

- El tipo de turbina con el que opera cada una de las PCHs, es una variable que tuvo un gran trabajo de investigación, en la base de datos pública, que se encuentra en la página oficial de la empresa XM no existen registros de cuáles son las turbinas que utilizan las PCHs allí mencionadas, la clasificación se realizó, complementando la información con la proporcionada por XM a través de la solicitud antes mencionada, por medio de la consulta específica de cada una de las PCHs de manera independiente, algunas centrales no se encontraron debido a la privacidad de la información. Por medio de la base de datos se realizó una clasificación para determinar cuáles son los tipos de turbina más utilizados y concluir cual es la tecnología más viable para la implementación futura de más PCHs.

#### Clasificación de las PCHs de acuerdo a su ubicación geográfica

- Para la ubicación geográfica y clasificación de las PCHs en las diferentes zonas que abarca el territorio nacional, se tuvieron en cuenta los municipios que actualmente conforman las áreas donde se encuentran ubicadas, la concentración de generación hidráulica en COLOMBIA se evidencia en algunas zonas más que en otras, esto determinó donde se han implementado a través del tiempo, más proyectos de generación utilizando el recurso hídrico.

### 3.2.3 Implementación

Investigación y consulta de las herramientas más eficaces para elaboración de SIG

Las ventajas y desventajas que tienen los SIG permiten establecer una idea de cuál es el más apropiado al momento de la elección del mismo.

<b>Ventajas de un SIG</b>	<b>Desventajas de un SIG</b>
Capacidad del almacenamiento. Múltiples niveles de datos.	Alto costos de adquisición y mantenimiento del sistema.
Los datos se almacenan y se presentan en forma separada. La presentación es múltiple.	Costos y problemas técnicos en la captura de datos (conversión analógica- digital) y en la transferencia (incompatibilidades).
Capacidad de manejo. Edición y actualización.	Costos de mantenimiento de datos. Administración, actualización y edición.
Rapidez en la operación.	Necesidad de formación de cuadros especializados. Operación en el ámbito digital.
Capacidad de establecer una relación coherente. Utilizar simultáneamente datos espaciales y sus atributos.	Falsa sensación de exactitud.
Capacidad de análisis. Implementación de modelos de aplicación.	

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los SIG.

Fuente (INEGI, 2014)

- La elaboración del sistema de información geográfica, se realizó por medio del software de mayor conocimiento y manejo por parte del autor, se efectuó la consulta de cuáles son los software más utilizados a nivel mundial en la elaboración de SIG, con la finalidad de presentar las herramientas que pueden satisfacer las necesidades de este proyecto, teniendo en cuenta la destreza y el conocimiento propio del autor, se realizó la implementación de la información en uno de los software, para satisfacer el objetivo planteado y poder tener la visualización web del inventario actualizado de las PCHs en Colombia.

Implementación de la información de las PCHs existentes y las que se encuentran en la UPME en la fase III por medio de la herramienta computacional

- La implementación en la herramienta computacional se efectuó por medio del software elegido, tomando la información ya procesada se ejecutaron los respectivos procedimientos en el software, se realizó la creación de un mapa del territorio nacional, donde se encuentran las ubicaciones de cada una de las PCHs, en dicho mapa se pueden observar las características más relevantes de cada central hidráulica, posteriormente se realizó la creación de la aplicación web, para facilitar el uso del mapa y la consulta óptima de la información más relevante.

Adquisición del concepto de percepción de los usuarios en relación con la implementación en la herramienta computacional

- La aplicación web que se implementó por medio de la herramienta computacional se presentó a una parte de la comunidad de ingeniería eléctrica de la universidad de la Salle, específicamente a un grupo de estudiantes que cursan materias afines a las temáticas de generación de energía eléctrica, donde se les realizó una reseña de cuáles son las funciones y características de la aplicación web dentro de la obtención y manejo de la información que se encuentra inmersa en la herramienta computacional, por medio de una encuesta de percepción, los usuarios establecieron su opinión crítica sobre aspectos esenciales de la aplicación, dicha encuesta también fue aplicada a una pequeña muestra de docentes y egresados que establecieron su criterio personal, esto generó el consolidado final de respuestas de la encuesta para así determinar la viabilidad de la implementación en la herramienta computacional.

## 4 CAPÍTULO IV DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SIG

### 4.1 Softwares más utilizados para SIG

Los principales softwares que son utilizados a nivel mundial en la creación y optimización de herramientas SIG son 3: ArcGIS, QGIS, GvGIS.

#### 4.1.1 ArcGIS

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Es la plataforma líder mundial para crear y utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios (Esri, plataforma Arcgis, 2019).

ArcGIS permite:

- Crear, compartir y utilizar mapas inteligentes.
- Compilar información geográfica.
- Crear y administrar bases de datos geográficas.
- Resolver problemas con análisis espacial.
- Crear aplicaciones basadas en mapas.
- Conocer y compartir información mediante la Geografía y la visualización.

La plataforma ArcGIS facilita la creación, uso, descubrimiento y compartición de datos geográficos e información asociada, la cual puede ser utilizada desde cualquier dispositivo a través de sitios web, aplicaciones y sistemas móviles.

Permite tener información oportuna a través de un medio de colaboración, facilita el uso de información a usuarios nuevos y sin experiencia; además les auxilia en la realización de análisis espaciales, incluso sin poseer conocimientos exhaustivos de SIG. Todo esto permite pueda ser utilizado en una gran gama de ámbitos, como ciencia, educación, negocios y gobiernos (Esri, Arcgis Resources, 2019).

#### 4.1.2 QGIS

QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License. QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Opera sobre plataformas informáticas como; Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos.

QGIS Permite:

- Componer mapas; Gestor de Base de Datos, Panel de vista general, Marcadores espaciales, Herramientas de anotaciones, Identificar/seleccionar objetos espaciales, Vectores definidos por datos y herramientas para simbología raster, Composición del atlas y mapa con capas de cuadrícula.
- Puede ver combinaciones de datos vectoriales y ráster (en 2D o 3D) en diferentes formatos y proyecciones sin conversión a un formato interno o común.
- Crear, editar, gestionar y exportar datos.
- Analizar datos.
- Publicar mapas en Internet.
- Extender funcionalidades QGIS a través de complementos.
- Complementos del núcleo.
- Complementos externos de Python.

Además de todas las ventajas que tiene QGIS, también permite funciones como Screenshots, soporte comercial, además de contar con diferentes organizaciones de apoyo que lo respaldan a nivel mundial (Qgis, 2020).

#### 4.1.3 GvSIG

Es un Sistema de Información Geográfica que tiene su origen en la Generalitat Valenciana. Es gratuito y con licencia GNU/GPL (Licencia Pública General de GNU o sistema operativo totalmente libre).

GvSIG es un software integrador, capaz de trabajar con información de cualquier tipo u origen, tanto en formato raster como vectorial, y comparte algunas otras características con JUMP como su arquitectura modular o su carácter multiplataforma. Además, permite trabajar con formatos de otros programas como AutoCAD, Micro station o ArcView, de acuerdo con los parámetros de la OGC (Open Geospatial Consortium) que regula los estándares abiertos e interoperables de los Sistemas de Información Geográfica. Las herramientas que implementa permiten una gran precisión en edición cartográfica, incluye funciones avanzadas para usos en teledetección, morfometría e hidrología, y otras funciones básicas como diseño de impresión y soporte de los formatos más populares, tanto vectoriales como de imágenes.

GvSIG es una aplicación de la que ya existen varias versiones, y aunque su funcionalidad está prácticamente cubierta y se ha convertido en una referencia dentro de las tecnologías SIG, continúa actualmente en fase de desarrollo y perfeccionamiento, siempre bajo los principios de compartir y elaborar (Sig, 2010).

## 4.2 Software para implementación

La herramienta computacional utilizada para la implementación de la información de este proyecto es el software ArcGIS, software conocido y utilizado por el autor, sin embargo la implementación realizada y el resultado final de la inclusión de la información por medio de este software, para la visualización web del inventario actual de PCHs en Colombia, es posible realizarla en cualquiera de los software mencionados anteriormente.

## 4.3 Desarrollo de mapas

### 4.3.1 Actual

Para desarrollar en la herramienta computacional la implementación de la información, que me permita visualizarla en la web, con la finalidad que el lector pueda comprender cuales son y de qué manera se utilizaron las herramientas del software se siguieron una serie de pasos que se detallan a continuación:

Abrir en el menú principal de Windows el software ArcGIS, el vínculo ArcMap. Para tener acceso al software, en el vínculo file, seleccionar nuevo archivo, para crear un mapa nuevo. Seleccionar mapa en blanco, para realizar la apertura del nuevo mapa. Por medio de la herramienta Añadir mapa base, se selecciona la opción add basemap, esta herramienta permite añadir una capa de mapa base, que es la capa sobre la cual se tiene visualización del mapa global. En el menú de mapas base, Seleccionar imagery o cualquier mapa que se encuentra en la base de datos del software.

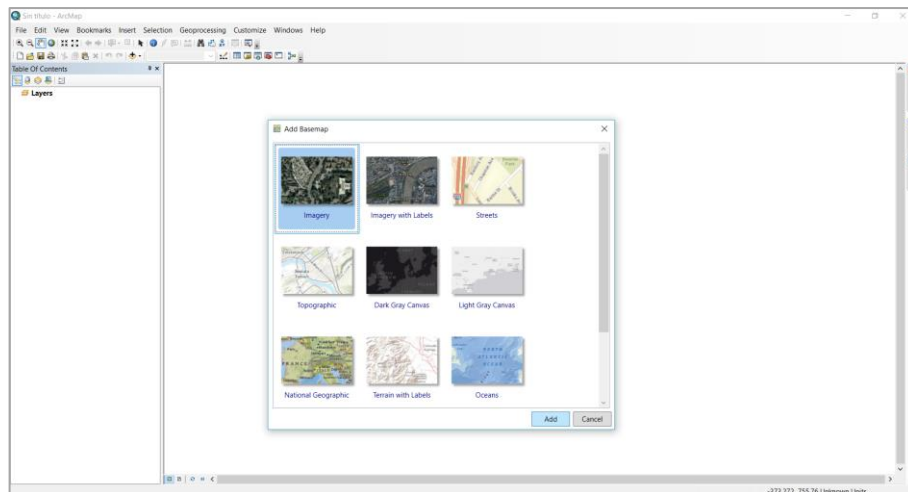


Imagen 11. Añadir mapa base.

Fuente (Autor)

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

La base de datos que contiene toda la información de las pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA, se encuentra organizada en un archivo de Microsoft office Excel, el software admite formatos de bloc de texto, o demás archivos que permitan guardar información en formato de texto, donde se encuentra alojada toda la información: Nombre, coordenadas (latitud y longitud), departamento, municipio, empresa, capacidad, turbina, año de entrada, participación en el mercado.

A1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	NOMBRE	LAT	CON	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	EMPRESA	CAPACIDAD	TURBINA	AÑO ENTRADA	PARTICIPA		
2	Juan Garcia	6,67948	-75,81025	Antioquia	Iboria	GENERACION Y PROMOCION DE ENERGIA DE ANTIOQUIA S.A.	4,52 MW	2 Pelton	2019	No		
3	Aveni Bajo	5,78348	-75,37497	Antioquia	Sonson	AGRES BAO S.S.	19,2 MW	2 Pelton	2018	No		
4	San Jose De La Mor	6,91378	-75,67754	Antioquia	San Jose De La Montaña	GENERACION Y PROMOCION DE ENERGIA DE ANTIOQUIA S.A.	1,1 MW	1 Francis	2018	No		
5	Tequendama I	4,57286	-74,28906	Cundinamarca	San Antonio De Tena	EMGSA S.A.	14,2 MW	1 Pelton	2018	No		
6	Tequendama II	4,57285	-74,28907	Cundinamarca	San Antonio De Tena	EMGSA S.A.	14,2 MW	1 Pelton	2018	No		
7	Tequendama III	4,57274	-74,28908	Cundinamarca	San Antonio De Tena	EMGSA S.A.	14,2 MW	1 Pelton	2018	No		
8	Tequendama IV	4,572854	-74,28905	Cundinamarca	San Antonio De Tena	EMGSA S.A.	14,2 MW	1 Pelton	2018	No		
9	Alejandria	6,374907	-75,141632	Antioquia	Alejandria	GENERADORA ALEJANDRIA S.A.S.	15 MW	2 Francis	2017	No		
10	Cartagena	6,33066	-75,0026	Antioquia	Ciencenas	GENERADORA CARTAGENA S.A.S.	4,62 MW	2 Francis	2017	No		
11	El Eden	5,332632	-75,078788	Caldas	Pensilvania	HI DROE LECT RICA EL EDEN S.A.S.	19,9 MW	2 Pelton	2017	No		
12	El Molino	6,05279	-75,165113	Antioquia	Cocoma	LA CASCA DA S.A.S.	19,9 MW	2 Francis	2017	No		
13	Las Palmas	6,615593	-75,50029	Antioquia	Santa Rosa De Oso	WATTA S.A.	2,8 MW	2 Francis	2017	No		
14	Luzma I	6,91517	-75,05107	Antioquia	Amalfi	GENERADORA LUZMA S.A.	19,6 MW	1 Pelton	2017	No		
15	Luzma II	6,910878	-75,051222	Antioquia	Amalfi	GENERADORA LUZMA S.A.	19,6 MW	1 Pelton	2017	No		
16	San Matias	6,03862	-75,119514	Antioquia	Cocoma	LA CASCA DA S.A.S.	19,9 MW	2 Francis	2017	No		
17	Cuello	4,2740	-74,80776	Tolima	Cuello	ENERGETIC S.A.	1,2 MW	1 Kaplan	2016	No		
18	El Cocuyo	4,542893	-76,182354	Valle Del Cauca	Versalles	EMPRESA DE ENERGIA DEL PACIFICO S.A.	0,7 MW		2016	No		
19	Guano Menor	4,733721	-73,495476	Cundinamarca	Ibata	EMGSA S.A.	9,9 MW		2016	No		
20	La Finolera	5,4613	-75,46664	Caldas	Sabamina	GENER PLUMBO S.A.S.	0,77 MW		2016	No		
21	Magallo	6,047903	-75,927514	Antioquia	Concordia	HI DROE LECT RICA CONCORDIA S.A.S.	5,7 MW		2016	No		
22	Morro Azul	5,189429	-75,812857	Risaralda	Belem De Umbria	RISARALDA ENERGIA S.A.S.	19,9 MW		2016	No		
23	Porcic II Menor	7,071154	-75,130287	Antioquia	Anori	EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN S.A.	1,8 MW		2016	No		
24	Tuyula	4,970308	-74,31796	Rioyca	Tuyula	AGS CHIVOS & CIA. S.C.A.	19,7 MW	2 Francis	2016	No		
25	Bajo Tulua	4,0170531	-76,3106463	Valle Del Cauca	Tulua	EMPRESA DE ENERGIA DEL PACIFICO S.A.	19,9 MW	2 Francis	2015	No		
26	Providencia	7,393773	-74,073435	Antioquia	Anori	HZ ENERGY S.A.S.	4,9 MW		2015	No		
27	El Popal	6,027992	-75,14154	Antioquia	Cocoma	LA CASCA DA S.A.S.	19,9 MW		2014	No		
28	La Naveita	4,533209	-74,584539	Cundinamarca	Apulo R Reyes	IAC ENERGY S.A.S.	4,8 MW		2014	No		
29	La Rebusca	6,476478	-75,003978	Antioquia	San Roque	HZ ENERGY S.A.S.	0,7 MW		2014	No		
30	Laguneta	4,628857	-74,35007	Cundinamarca	San Antonio De Tena	EMGSA S.A.	1,8 MW		2014	No		

Imagen 12. Archivo de base de datos en formato de Excel.

Fuente (Autor)

Dicha información, se va a albergar en el software ArcMap. Por medio de la herramienta add X, Y Data, que permite agregar coordenadas en latitud y longitud, se selecciona el archivo que contiene la información, especificando en que hoja de cálculo se encuentra.

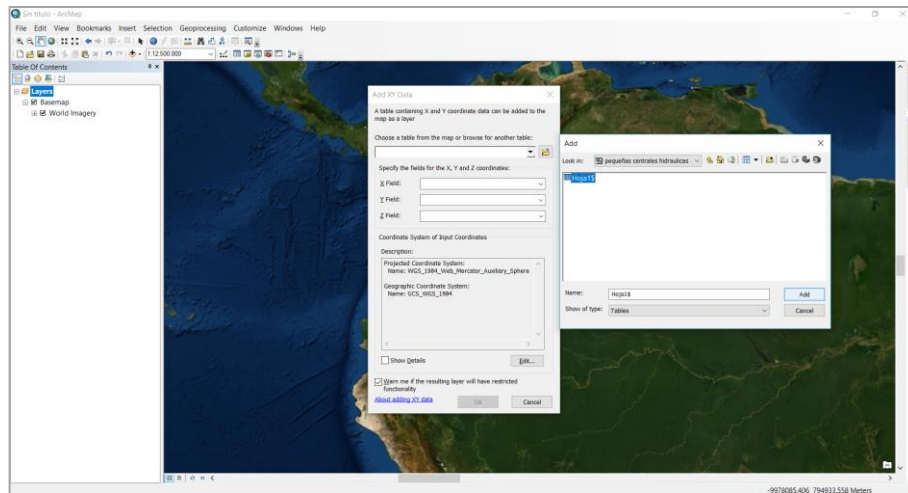


Imagen 13. Vinculo de la Herramienta add X, Y.

Fuente (Autor)

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

El software reconoce las coordenadas y las ajusta, en los puntos X, Y, y selecciona el sistema de coordenadas por defecto, para asignarle el sistema de coordenadas que permite observar los puntos sobre el mapa, se selecciona el vínculo edit.

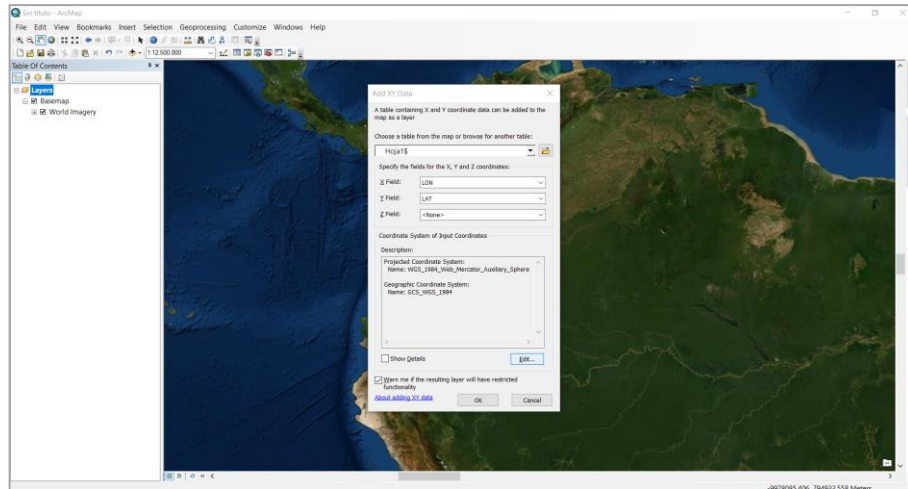


Imagen 14. Asignación de formato para visualización de coordenadas.

Fuente (Autor)

El sistema de coordenadas se selecciona en la carpeta Geographic Coordinate Systems, carpeta world, opción WGS 1984, el cual es un sistema geodésico de coordenadas geográficas usado mundialmente, que permite localizar cualquier punto de la Tierra, es un sistema sobre el que se estima un error de cálculo menor a 2 cm, y es el sistema de coordenadas que toma como base el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

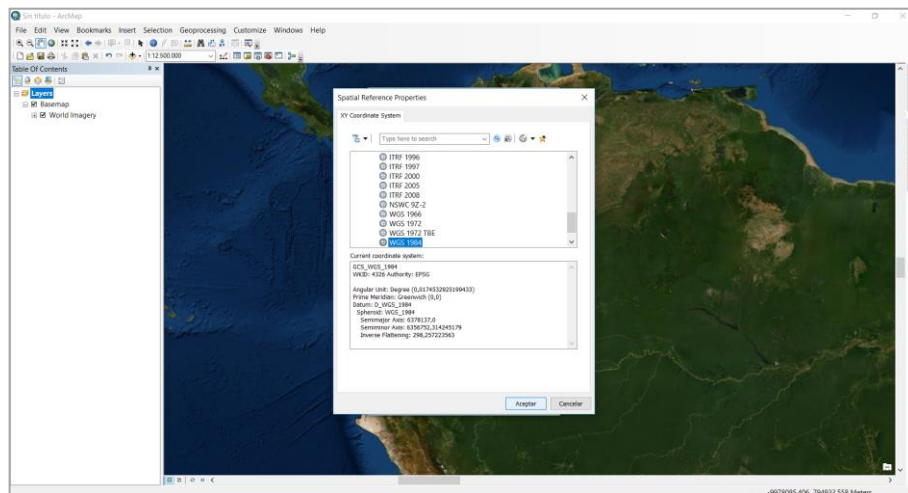


Imagen 15. Sistema base de coordenadas geográficas.

Fuente (Autor)

El software arroja los puntos sobre el mapa global. Estos se encuentran alojados en una capa que se define por defecto, dicha capa es una capa temporal y no permite observar toda la información completa de la base de datos.

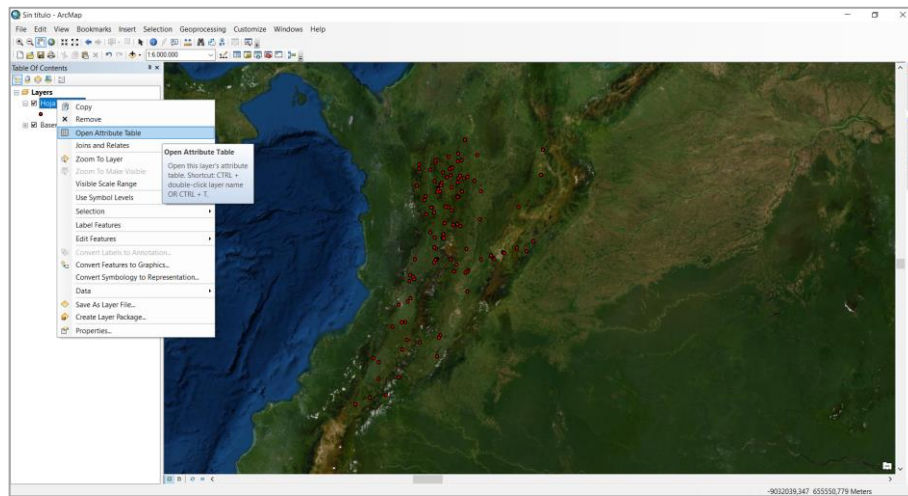


Imagen 16. Puntos geográficos en el mapa base.

Fuente (Autor)

Se selecciona Visualizar tabla de atributos, para poder observar que información contiene, Dicha tabla la presenta el software, sin tener acceso a la información antes mencionada. Para poder visualizar toda la información es necesario crear un archivo shapefile; que es un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas. Seleccionando la capa original, por medio de la herramienta exportar datos se crea el archivo shapefile, este archivo se guarda en una carpeta de fácil acceso, que alojara la información de la capa creada.

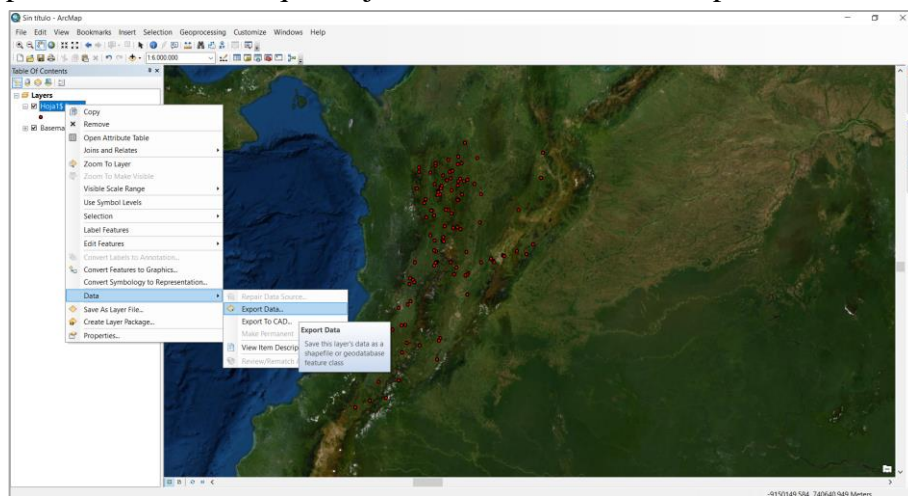


Imagen 17. Creación de archivo shapefile.

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

Fuente (Autor)

Los puntos generados por el archivo nuevo cambian de color, ya que el archivo shapefile genera otra capa sobre el mapa base, la tabla de atributos del archivo shapefile que muestra ahora el software, permite visualizar toda la información contenida en la base de datos antes mencionada.

ID	NOMBRE	LAT	LONG	DEPARTAMEN	MUNICIPIO	EMPRESA	CAPACIDAD	UBISINA	AÑO ENTRA	PARTICIPA
1	Punto Juan Garcia	5.97948	-75.91025	Antioquia	Lobosura	GENERACION Y PROMOCION DE ENERGIA DE ANTOQUIA S.A.	4.32 MW	2 Puntos	2019	No
2	Punto Avaro Soto	5.97948	-75.91025	Antioquia	Sisonon	ALBER BADO S.A.S	19.8 MW	2 Puntos	2018	No
3	Punto San Jose De La Montaña II	6.91178	-75.97154	Antioquia	San Jose De La Montaña	GENERACION Y PROMOCION DE ENERGIA DE ANTOQUIA S.A.	1.1 MW	1 Franja	2018	No
4	Punto Tequecama I	6.17281	-74.28003	Cundinamarca	San Antonio De Tena	EMGESA S.A.	14.2 MW	1 Puntos	2018	No
5	Punto Tequecama II	6.17279	-74.28008	Cundinamarca	San Antonio De Tena	EMGESA S.A.	14.2 MW	1 Puntos	2018	No
6	Punto Tequecama III	6.17281	-74.28003	Cundinamarca	San Antonio De Tena	EMGESA S.A.	14.2 MW	1 Puntos	2018	No
7	Punto Alejandra	6.97497	-75.94162	Antioquia	Albania	GENERADORA ALEJANDRA S.A.S	15 MW	2 Franja	2017	No
8	Punto Carrizosa	6.95689	-75.97026	Antioquia	Cumandaya	GENERADORA CARRIZOSA S.A.S	4.31 MW	2 Franja	2017	No
9	Punto El Eden	5.92832	-75.97878	Caldas	Perezona	MOELECTRICA EL EDEN S.A.S	19.3 MW	2 Puntos	2017	No
10	Punto El Mono	6.95279	-75.91115	Antioquia	Cocorná	LA CASCAIDA S.A.S	19.3 MW	2 Franja	2017	No
11	Punto Las Palmas	6.81653	-75.98822	Antioquia	Santa Rosa De Oso	VANA S.A.	2.8 MW	2 Franja	2017	No
12	Punto Lumbre	6.91517	-75.95120	Antioquia	Armañá	GENERADORA LUMBE S.A.	19.3 MW	1 Franja	2017	No
13	Punto Lumbre II	6.91878	-75.94122	Antioquia	Armañá	GENERADORA LUMBE S.A.	19.3 MW	1 Puntos	2017	No
14	Punto San Mateo	6.94882	-75.97814	Antioquia	Cocorná	LA CASCAIDA S.A.S	19.3 MW	2 Franja	2017	No
15	Punto Cumbre	4.27489	-74.88774	Tolima	Cerro	ENERGIA S.A.	1.2 MW	1 Franja	2016	No
16	Punto El Cocoso	4.24483	-74.88774	Tolima	Cerro	ENERGIA S.A.	1.2 MW	1 Franja	2016	No
17	Punto Cuervo Menor	4.73721	-74.89475	Cundinamarca	Ubaté	EMPRESA DE ENERGIA DEL PACIFICO S.A.	3.8 MW	2 Franja	2016	No
18	Punto La Frontera	4.44132	-74.48844	Caldas	Salazar	EMGESA S.A.	1.47 MW	2 Franja	2016	No
19	Punto Maguila	6.88791	-75.92174	Antioquia	Cumandaya	MOELECTRICA COCORONA S.A.S	3.8 MW	2 Franja	2016	No
20	Punto Bona Acaí	5.98429	-75.92882	Risaralda	Bojota	RESERVA DE ENERGIA S.A.S	19.3 MW	2 Franja	2016	No
21	Punto Ponce H. Memon	7.01764	-75.15027	Antioquia	Armañá	EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN S.A.	1.8 MW	1 Franja	2016	No
22	Punto Tunga	7.01764	-75.15027	Antioquia	Tunga	RESERVA DE ENERGIA S.A.S	19.3 MW	2 Franja	2016	No
23	Punto San Mateo	6.91783	-75.94046	Valle Del Cauca	Tagua	EMPRESA DE ENERGIA DEL PACIFICO S.A.	19.3 MW	2 Franja	2016	No
24	Punto Piononidia	7.93777	-74.97435	Antioquia	Anorá	MOE ENERGY S.A.S	4.8 MW	2 Franja	2016	No
25	Punto El Pionon	6.82896	-75.94144	Cundinamarca	Cocorná	LA CASCAIDA S.A.S	19.3 MW	2 Franja	2016	No
26	Punto La Dama	4.83289	-74.88423	Cundinamarca	Armañá	MOE ENERGY S.A.S	4.8 MW	2 Franja	2016	No
27	Punto La Dama	4.83289	-74.88423	Cundinamarca	Armañá	MOE ENERGY S.A.S	4.8 MW	2 Franja	2016	No
28	Punto La Dama	4.83289	-74.88423	Cundinamarca	Armañá	MOE ENERGY S.A.S	4.8 MW	2 Franja	2016	No
29	Punto La Dama	4.83289	-74.88423	Cundinamarca	Armañá	MOE ENERGY S.A.S	4.8 MW	2 Franja	2016	No
30	Punto Usaquen	4.88416	-74.84388	Risaralda	Usaquen	EMGESA S.A.	1.8 MW	1 Franja	2016	No
31	Punto Abo Taba	4.82754	-76.20148	Valle Del Cauca	Taba	EMPRESA DE ENERGIA DEL PACIFICO S.A.	19.3 MW	2 Franja	2016	No
32	Punto Barron	5.94414	-75.96894	Antioquia	Barron	LA CASCAIDA S.A.S	19.3 MW	2 Puntos	2016	No
33	Punto Independencias	4.44746	-76.20148	Valle Del Cauca	Don Matias	EMPRESA DE ENERGIA DEL PACIFICO S.A.	19.3 MW	2 Puntos	2016	No
34	Punto San Francisco	2.75162	-76.88487	Quindío	San Francisco	EMGESA S.A.	3.48 MW	2 Franja	2016	No
35	Punto San Francisco	4.86651	-76.88423	Valle Del Cauca	Panama	GENERUMIVO S.A.S	19.17 MW	2 Franja	2016	No
36	Punto Santitas	4.88491	-75.18320	Antioquia	Santa Rosa De Oso	VANA S.A.	2.8 MW	2 Franja	2016	No
37	Punto Camacha	6.92189	-75.97715	Antioquia	Santa Rosa De Oso	LA CASCAIDA S.A.S	19.3 MW	1 Franja	2016	No
38	Punto Comunicacion	4.24816	-74.24208	Tolima	Rosero	ENERGIA S.A.	1.2 MW	1 Franja	2016	No
39	Punto Cuamantillas	6.75418	-75.97114	Antioquia	Santa Rosa De Oso	LA CASCAIDA S.A.S	19.3 MW	1 Franja	2016	No
40	Punto Santa Rita	5.91612	-75.91408	Antioquia	Armañá	ENERGIA S.A.	1.2 MW	1 Franja	2016	No
41	Punto Muzo	4.49288	-76.97861	Caldas	Muzo	VANA S.A.	1.8 MW	1 Franja	2016	No
42	Punto San Mateo	6.91783	-75.94046	Valle Del Cauca	Tagua	EMPRESA DE ENERGIA DEL PACIFICO S.A.	19.3 MW	2 Franja	2016	No
43	Punto Armañá	6.88616	-75.94874	Antioquia	Armañá	MOE ENERGY S.A.S	5.81 MW	1 Puntos	2016	No
44	Punto La Camadilla	5.88464	-75.91212	Antioquia	Armañá	ENERGIA S.A.	1.2 MW	1 Franja	2016	No
45	Punto La Camadilla	5.91088	-74.91688	Antioquia	San Diego	LA CASCAIDA S.A.S	2.3 MW	2 Franja	2016	No
46	Punto Muzo	4.49288	-76.97861	Caldas	Muzo	MOE ENERGY S.A.S	5.81 MW	1 Franja	2016	No
47	Punto Rio Grande	6.89947	-75.91622	Antioquia	Don Matias	EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN S.A.	3.3 MW	1 Franja	2016	No
48	Punto San Jose De La Montaña	6.95171	-75.97608	Antioquia	San Jose De La Montaña	EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN S.A.	19.3 MW	2 Franja	2016	No
49	Punto Lirio	6.91196	-76.18842	Antioquia	Lirio	EMERGCOMER S.A.S	1.81 MW	2 Puntos	2016	No
50	Punto Cadenes	6.92828	-75.88621	Antioquia	San Carlos	EMGESA S.A.	19.3 MW	2 Puntos	2016	No
51	Punto Santa Ana	6.89388	-74.82493	Cundinamarca	Ubaté	EMPRESA S.A.	8 MW	2 Franja	2016	No
52	Punto PATIO Comunes Del Nasa	6.17265	-74.88642	Antioquia	Piso Nasa	EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN S.A.	19.3 MW	2 Franja	2016	No
53	Punto La Hembra	6.80488	-76.88104	Antioquia	Cafayates	EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN S.A.	19.3 MW	2 Franja	2016	No
54	Punto La Vuelta	6.17026	-76.88104	Antioquia	Cafayates	EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN S.A.	19.3 MW	1 Franja	2016	No
55	Punto Muzo	4.49288	-76.97861	Caldas	Muzo	VANA S.A.	1.8 MW	2 Franja	2016	No
56	Punto Muzo	4.49288	-76.97861	Caldas	Muzo	VANA S.A.	1.8 MW	2 Franja	2016	No
57	Punto Muzo	4.49288	-76.97861	Caldas	Muzo	VANA S.A.	1.8 MW	2 Franja	2016	No
58	Punto Muzo	4.49288	-76.97861	Caldas	Muzo	VANA S.A.	1.8 MW	2 Franja	2016	No
59	Punto Muzo	4.49288	-76.97861	Caldas	Muzo	VANA S.A.	1.8 MW	2 Franja	2016	No
60	Punto Muzo	4.49288	-76.97861	Caldas	Muzo	VANA S.A.	1.8 MW	2 Franja	2016	No

Imagen 18. Imagen de la tabla de atributos del archivo shapefile.

Fuente (Autor)

Se elimina la capa temporal generada anteriormente, para no duplicar los puntos, y Como resultado se obtiene el mapa, que contiene la capa de los puntos geográficos, donde está alojada la información más relevante de las PCHs que están en operación en la actualidad.

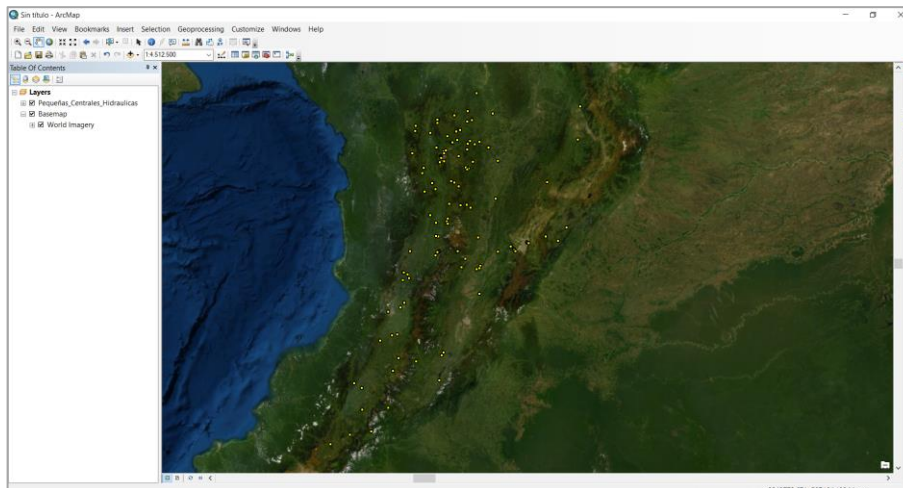


Imagen 19. Mapa de puntos shapefile.

Fuente (Autor)

### 4.3.2 Fase III UPME

Para la elaboración de la capa que contiene la información más relevante de las pequeñas centrales hidráulicas que se encuentran en la Fase III de la unidad de planeación minero energética (UPME), se realizaron los pasos anteriormente mencionados, ahora con la información de la base de datos que contiene la información de la Fase III.

Se investigó y se organizó la información más relevante de las pequeñas centrales hidráulicas que se encuentran en la Fase III de la UPME en un archivo de Microsoft office Excel, donde se encuentra alojada toda la información: Nombre, coordenadas (latitud y longitud), departamento, municipio, empresa, capacidad, Fecha del proyecto, año de entrada en operación, vigencia y código del proyecto.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
	NOMBRE	LAT	LONG	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	EMPRESA	CAPACIDAD	FECHA PROYECTO	ENTRADA OPERACIÓN	VIGENCIA	CODIGO I
2	La Cascada	6,452664	-75,075231	Antioquia	San Roque	LA CASCADA S.A.S.	2,3 MW	2007.	2007.	SI	1.
3	Barroso	5,954314	-75,956958	Antioquia	Salgar	BARROSO S.A.E.S.P	19,9 MW	2010.	2012.	SI	5.
4	Santiago	6,48491	-75,136325	Antioquia	Santo Domingo	VATIA S.A.	2,8 MW	2010.	2011.	SI	215.
5	Tunjilla	4,970308	-73,337996	Boyacá	Tunjilla	AES CHIVOR & CIA. S.C.A.	19,7 MW	2011.	2016.	SI	449.
6	Alejandria	6,374907	-75,141632	Antioquia	Alejandria	GENERADORA ALEJANDRIA S.A.S.	15 MW	2014.	2017.	SI	112.
7	Cantaryos	6,335869	-75,092624	Antioquia	Cuiceros	GENERADORA CANTARYOS S.A.S.	4,32 MW	2015.	2017.	SI	609.
8	Barrancas	7,000597	-76,255827	Antioquia	Daeniba	HIDROELÉCTRICA BARRANCAS S.A. E.S.P.	4,70 MW	2015.	2017.	NO	6.
9	Luzma I	6,91517	-75,053307	Antioquia	Amalfi	GENERADORA LUZMA S.A.	19,6 MW	2015.	2017.	SI	662.
10	Luzma II	6,910878	-75,054122	Antioquia	Amalfi	GENERADORA LUZMA S.A.	19,6 MW	2015.	2017.	SI	663.
11	Aures Bajo	5,783648	-75,372497	Antioquia	Sorsón	AURES BAJO S.A.S. E.S.P.	19,4 MW	2014.	2018.	SI	411.
12	Magallo	6,047901	-75,927514	Antioquia	Concordia	HIDROELÉCTRICA CONCORDIA S.A.S.	5,7 MW	2016.	2016.	SI	251.
13	Mulatos II	5,85947	-75,848664	Antioquia	Tarso	ENERGÍA DEL SURESTE S.A. E.S.P.	7 MW	2016.	2018.	NO	358.
14	Cauya	5,235891	-75,805321	Caldas	Anserma	GENERADORA DE ENERGÍA CAUYA S.A.S	1,54 MW	2016.	2016.	NO	867.
15	San Jose De La Mor	6,91378	-75,677534	Antioquia	San Jose De	GENERACION Y PROMOCION DE ENERGIA DE ANTIOQUIA	11,1 MW	2016.	2018.	SI	459.
16	Dofia Teresa	7,096443	-74,692814	Antioquia	Segovia	PROMOTORA DE ENERGIA ELECTRICA DE CARTAGENA & C	8,5 MW	2013.	2016.	NO	630.
17	Juan Garcia	6,67948	-75,81025	Antioquia	Liborna	GENERACION Y PROMOCION DE ENERGIA DE ANTIOQUIA	4,52 MW	2017.	2019.	SI	787.
18	El Cable	5,117396	-75,519515	Caldas	Manizales	AGUAS DE MANIZALES S.A. E.S.P.	4,9 MW	2017.	2017.	NO	480.
19	Conde	5,618066	-75,584122	Antioquia	Valparaiso	GENMAS S.A.E.S.P.	0,05 MW	2017.	2021.	NO	852.
20	San Andres De Cue	6,914677	-75,677884	Antioquia	San Andres	CELSA S.A. E.S.P.	19,9 MW	2018.	2020.	NO	114.
21	Hidronare	6,182674	-74,993208	Antioquia	San Carlos	GRUPO NARE S.A.S. E.S.P	19,9 MW	2018.	2020.	NO	569.
22	La Cascada De Gra	6,136337	-75,174041	Antioquia	Granada	INMAI S.A.S.- E.S.P.	2,09 MW	2019.	2019.	NO	3.
23	TZ II	7,582786	-75,420395	Antioquia	Taraza	CENTRAL HIDROELÉCTRICA TZ II SAS ESP	9,70 MW	2019.	2022.	NO	1542.

Imagen 20. Base de datos Fase III.

Fuente (Autor)

Dicha información, se va a albergar en el software ArcMap. Por medio de la herramienta add X, Y Data, que permite agregar coordenadas en latitud y longitud, las cuales el software reconocerá, en el vínculo agregar datos, se selecciona el archivo que contiene la información, especificando en que hoja de cálculo se encuentra.

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

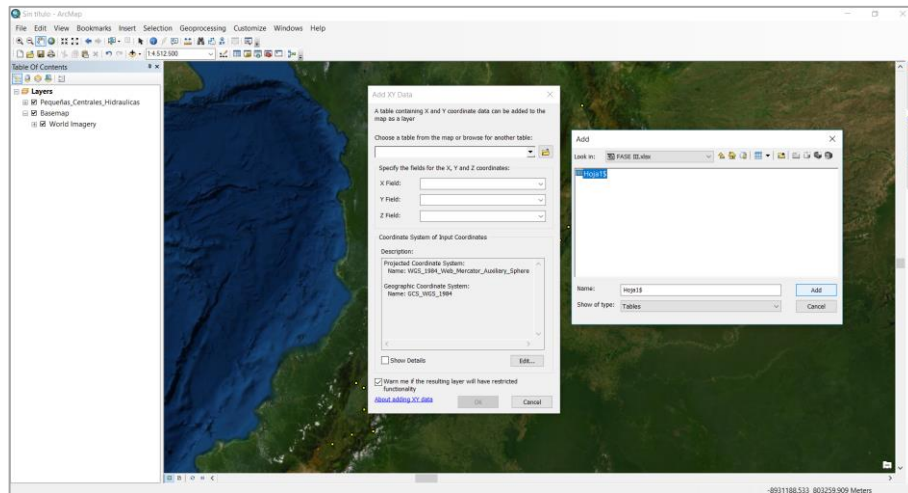


Imagen 21. Carga de datos de la Fase III.

Fuente (Autor)

El software reconoce las coordenadas y las ajusta, en los puntos X, Y, y selecciona el sistema de coordenadas por defecto. Para asignarle el sistema de coordenadas que permite observar los puntos sobre el mapa, se selecciona el vínculo edit. El sistema de coordenadas se selecciona en la carpeta Geographic Coordinate Systems, carpeta world, opción WGS 1984.

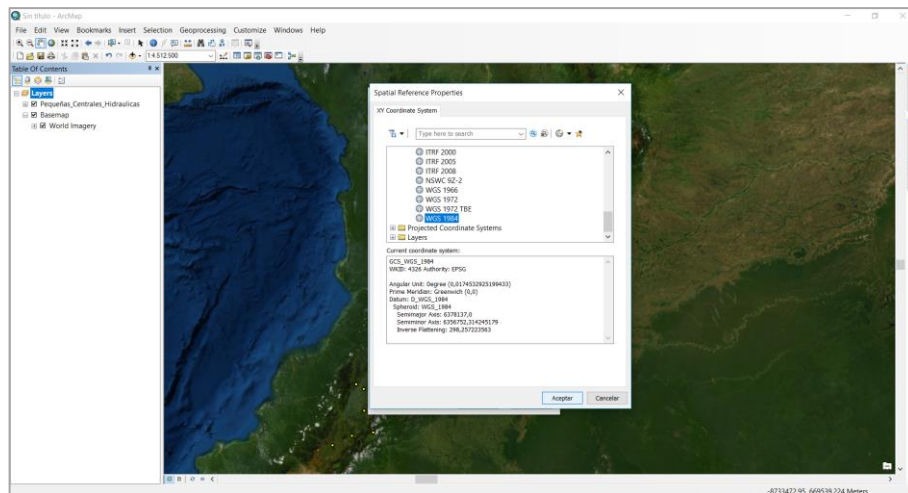


Imagen 22. Sistema de coordenadas, para la información de la Fase III.

Fuente (Autor)

Posterior a esto se selecciona ok, y el software arroja los puntos sobre el mapa global. De la misma forma que se realizó para la base de datos de las PCHs que se encuentran actualmente en funcionamiento, se crea la nueva capa, que es el archivo shapefile que permite observar la información contenida en la tabla de atributos. Por medio de la herramienta exportar datos.

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

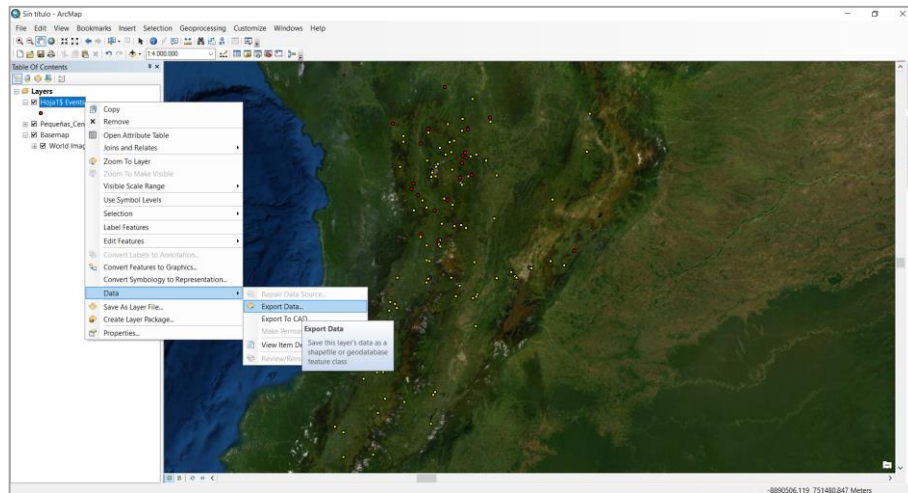


Imagen 23. Archivo shapefile para la información de la Fase III.

Fuente (Autor)

Se selecciona la carpeta donde se alojará el archivo shapefile generado. En la capa creada se selecciona la opción abrir tabla de atributos, para verificar que se puede visualizar toda la información completa. La tabla de atributos del archivo shapefile que muestra ahora el software, permite visualizar toda la información contenida en la base de datos antes mencionada.

ID	SHAPE	NOMBRE	LAT	LONG	DEPARTAMEN	MUNICIPIO	EMPRESA	CAPACIDAD	FECHA PROJ	ENTRADA OP	VIGENCIA	LOGRO PRO
1	Punto	La Cometa	4,42044	-75,37121	Antioquia	San Roque	LA CASCAIDA S.A.S	2,7 MW	2010	2017	SI	1
2	Punto	Sanroel	4,56414	-75,34498	Antioquia	Salgar	BARROJO S.A.E.S.P	19,3 MW	2010	2012	SI	1
3	Punto	Sanroel	4,44641	-75,18225	Antioquia	Sanjo Domingo	VISTA S.A	3,8 MW	2010	2011	SI	21
4	Punto	Turquia	4,97208	-75,33798	Boyacá	Turpia	MES CHIVOR & CIA. S.C.A.	19,7 MW	2011	2016	SI	449
5	Punto	Antioquia	3,57492	-75,18125	Antioquia	Antioquia	GENERADORA ALJANDERÍA S.A.S	13,9 MW	2014	2017	SI	112
6	Punto	Centinara	4,33089	-75,29202	Antioquia	Centinara	GENERADORA CARTAYO S.A.S	14,32 MW	2015	2017	SI	809
7	Punto	Sanroel	4,66937	-75,25482	Antioquia	Sanroel	GENERADORA BARRANCA S.A. E.S.P	14,70 MW	2015	2017	IND	3
8	Punto	Luzma I	6,91017	-75,05307	Antioquia	Amalfi	GENERADORA LUZMA S.A.	19,6 MW	2015	2017	SI	662
9	Punto	Luzma II	6,91017	-75,04452	Antioquia	Amalfi	GENERADORA LUZMA S.A.	19,6 MW	2015	2017	IND	663
10	Punto	Aguas Bías	3,76348	-75,27297	Antioquia	Sison	Aguas Bías S.A. E.S.P	19,4 MW	2014	2016	SI	411
11	Punto	Miguel	4,47701	-75,30716	Antioquia	Concepción	GENERADORA CONCEPCION S.A.S	9,1 MW	2016	2016	SI	251
12	Punto	Mulata II	4,80947	-75,34954	Antioquia	Tarso	ENERGIA DEL SURESTE S.A. E.S.P	7 MW	2016	2016	IND	356
13	Punto	Cibola	4,22081	-75,36610	Caldas	Armenia	GENERADORA DE ENERGIA CIBOLA S.A.S	11,4 MW	2016	2016	IND	367
14	Punto	San José De La Montaña	4,97176	-75,17704	Antioquia	San José De La Montaña	PROYECTORA DE ENERGIA ELECTRICA DE CARTAGENA A.D.A S.C.A. E.S.P	14,3 MW	2015	2016	SI	636
15	Punto	San José De La Montaña	7,09643	-74,89274	Antioquia	San José De La Montaña	PROYECTORA DE ENERGIA ELECTRICA DE CARTAGENA A.D.A S.C.A. E.S.P	14,3 MW	2015	2016	SI	636
16	Punto	San José De La Montaña	4,97176	-75,17704	Antioquia	San José De La Montaña	PROYECTORA DE ENERGIA ELECTRICA DE CARTAGENA A.D.A S.C.A. E.S.P	14,3 MW	2015	2016	SI	636
17	Punto	San José De La Montaña	4,97176	-75,17704	Antioquia	San José De La Montaña	PROYECTORA DE ENERGIA ELECTRICA DE CARTAGENA A.D.A S.C.A. E.S.P	14,3 MW	2015	2016	SI	636
18	Punto	San José De La Montaña	4,97176	-75,17704	Antioquia	San José De La Montaña	PROYECTORA DE ENERGIA ELECTRICA DE CARTAGENA A.D.A S.C.A. E.S.P	14,3 MW	2015	2016	SI	636
19	Punto	San José De La Montaña	4,97176	-75,17704	Antioquia	San José De La Montaña	PROYECTORA DE ENERGIA ELECTRICA DE CARTAGENA A.D.A S.C.A. E.S.P	14,3 MW	2015	2016	SI	636
20	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
21	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
22	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
23	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
24	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
25	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
26	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
27	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
28	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
29	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
30	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
31	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
32	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
33	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
34	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
35	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
36	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
37	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
38	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
39	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
40	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
41	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
42	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
43	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
44	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
45	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
46	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
47	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
48	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
49	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
50	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
51	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
52	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
53	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
54	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
55	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
56	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
57	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
58	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
59	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
60	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
61	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
62	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
63	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
64	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
65	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
66	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
67	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
68	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
69	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
70	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
71	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
72	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
73	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
74	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
75	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
76	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
77	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
78	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
79	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
80	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
81	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
82	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
83	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481	Antioquia	Granada	GRUPO HANE S.A. E.S.P	19,3 MW	2014	2020	IND	174
84	Punto	La Cañada De Granada	6,13832	-75,17481								

alojada la información más relevante de las PCHs actuales y las que se encuentran en la Fase III de la UPME.

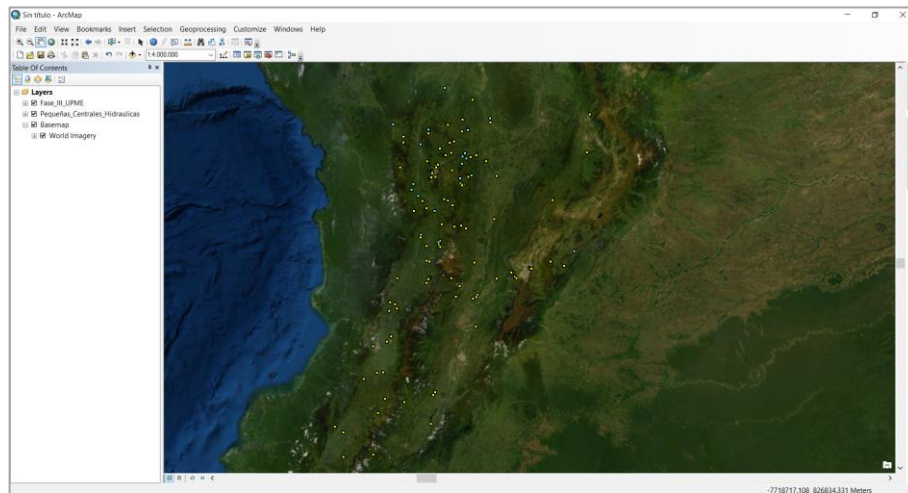


Imagen 25. Mapa con la información de las PCHs actuales y las que se encuentran en la Fase III.

Fuente (Autor)

#### 4.3.3 Aplicación web del SIG

Para crear la interfaz visual de la aplicación web, es necesario en la página oficial de ArcGIS Online crear una cuenta, con la finalidad de poder subir a la web el mapa generado en ArcMap. Después de realizar la creación de la cuenta se ingresan las credenciales para entrar y visualizar el panel web de ArcGIS desktop.

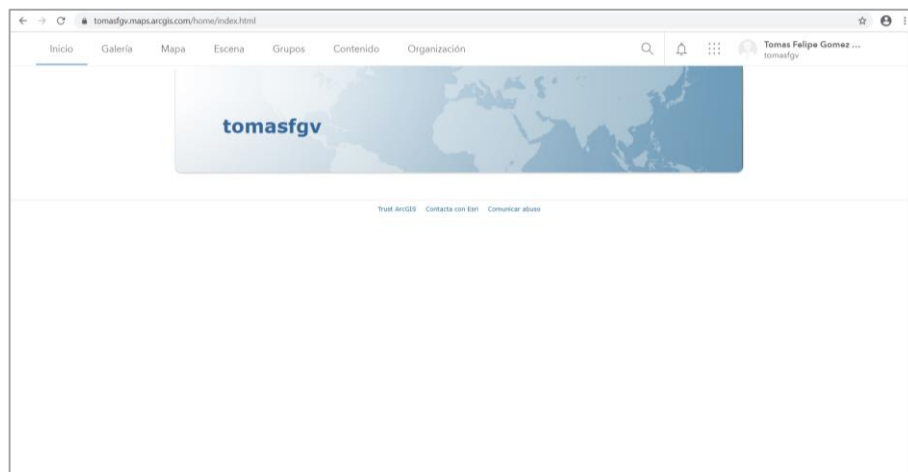


Imagen 26. Visualización del panel web de ArcGIS desktop.

Fuente (Autor)

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

En ArcMap se ingresan las credenciales para conectarse a la web, por medio de la herramienta iniciar sesión. En los vínculos de nombre de usuario y contraseña, se ingresan las credenciales antes creadas, y el software automáticamente realiza la conexión entre ArcMap, y la web ArcGIS desktop.

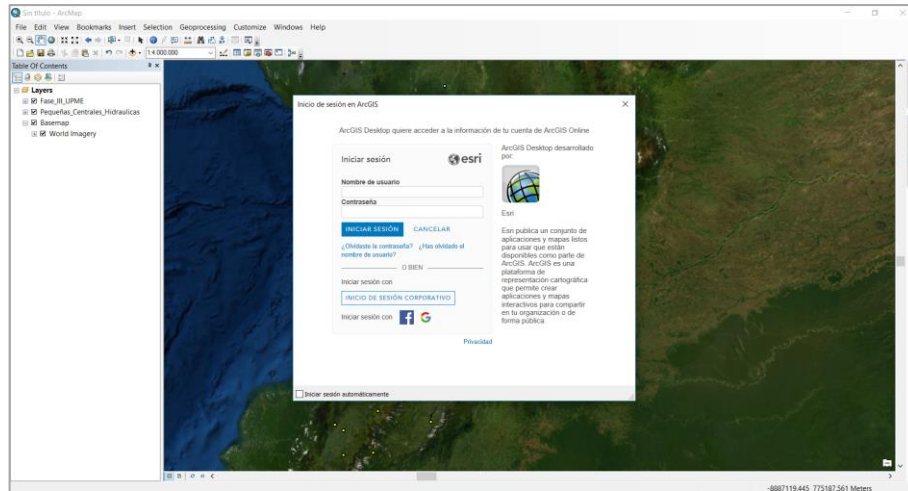


Imagen 27. Inicio de sesión en ArcMap, por medio de las credenciales de ArcGIS desktop.

Fuente (Autor)

Por medio de la herramienta: paquetes de mapa, se ingresan los datos específicos del mapa, con la finalidad de reconocerlo en la galería web de la cuenta de ArcGIS, en el vínculo descripción de ítem se realiza la descripción del mapa, agregando la información de las leyendas que al asignarlas en el buscador de ArcGIS desktop, permiten encontrar el mapa en la web.

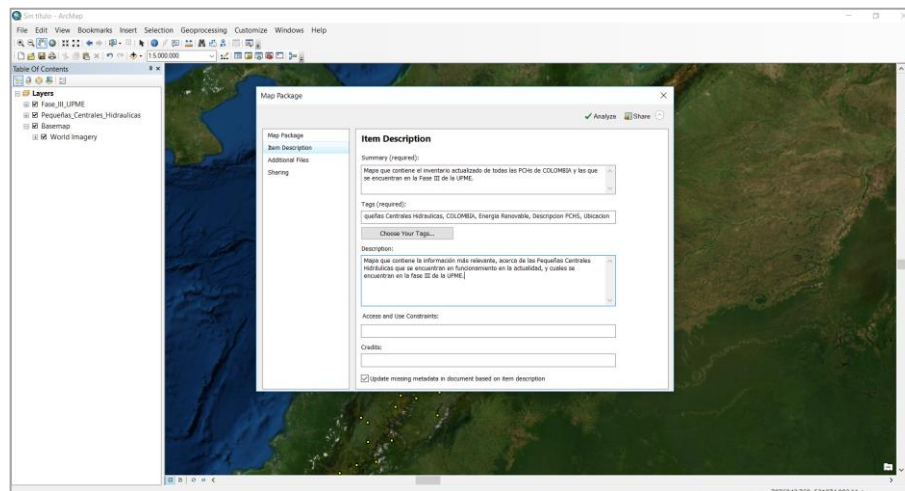


Imagen 28. Vinculo y Herramienta paquetes de mapa.

Fuente (Autor)

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

Para salvar las capas creadas, y la información alojada Se guarda el mapa creado, El vínculo servicio de ArcMap, realiza la apertura del menú, donde se especifican las condiciones para publicar el mapa creado, en la web de ArcGIS desktop.

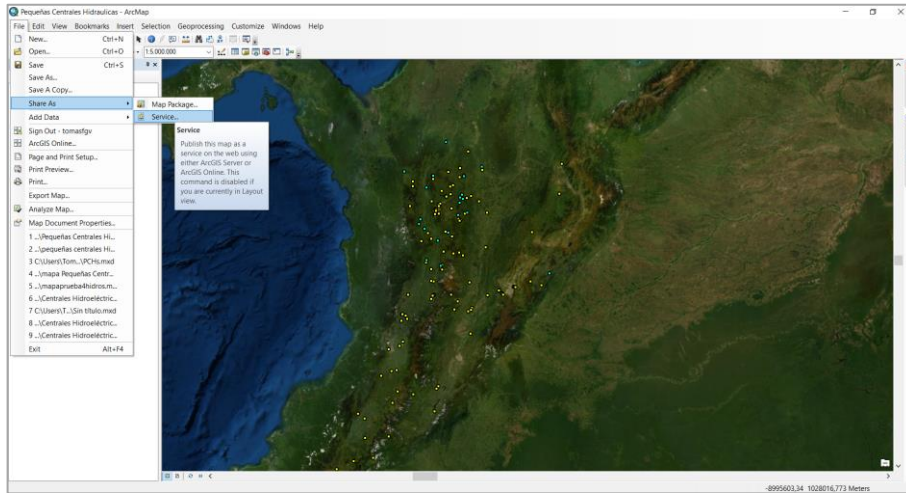


Imagen 29. Vinculo servicio de ArcMap.

Fuente (Autor)

La herramienta publicar mapa, permite subir el archivo creado a la web de ArcGIS desktop, en ella se define el nombre de archivo con el cual se subirá el mapa a la web, posterior a esto se realiza la apertura del menú editor de servicio, donde se visualizan los parámetros del mapa.

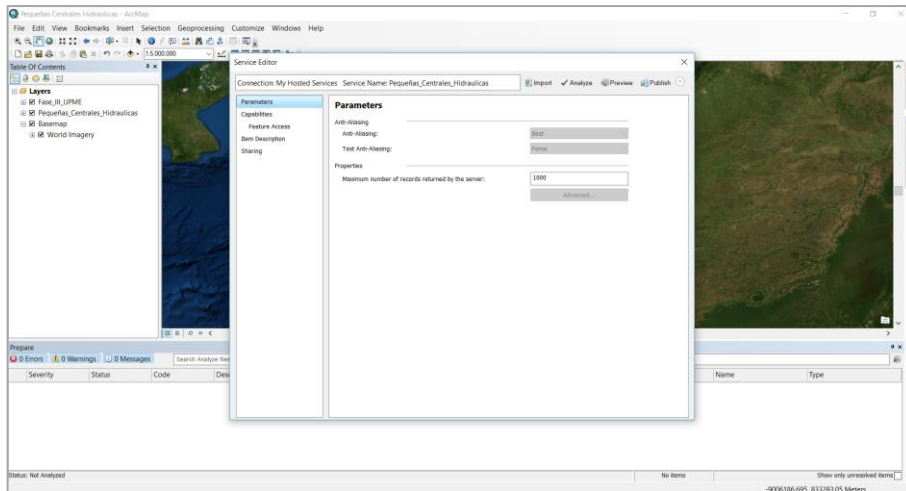


Imagen 30. Parámetros del mapa.

Fuente (Autor)

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

El software necesita realizar un análisis de las condiciones de cada una de las capas creadas en el mapa, con la finalidad de verificar que el mapa creado se puede visualizar en la web de ArcGIS desktop. La herramienta analizar, realiza un análisis del mapa.

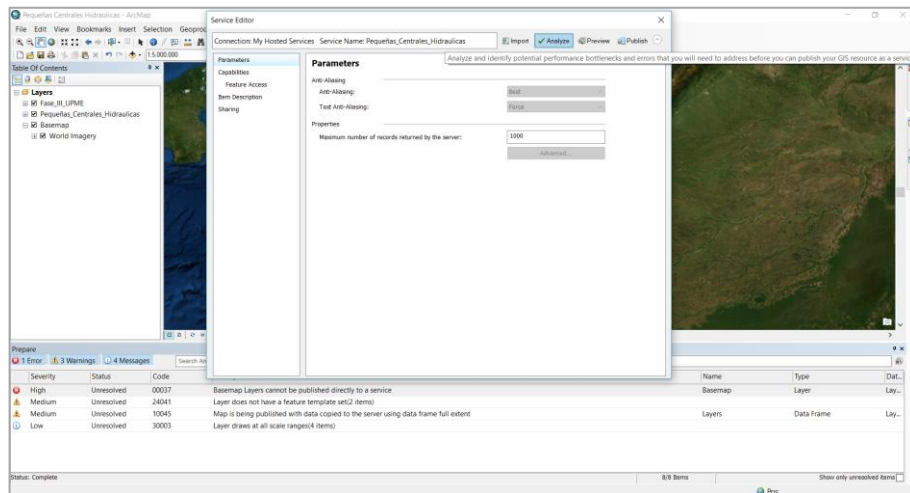


Imagen 31. Herramienta análisis de mapa.

Fuente (Autor)

El software determina que la capa base elegida por medio de la herramienta add basemap, no se puede publicar directamente en la web.

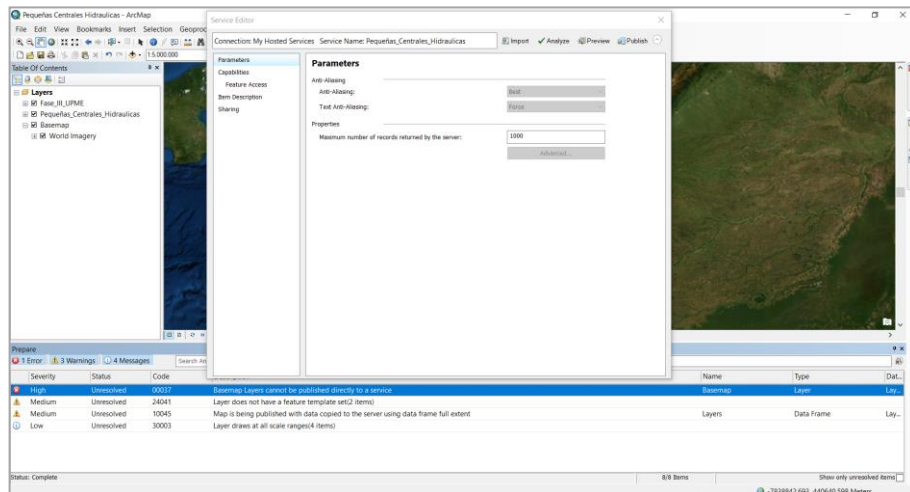


Imagen 32. Resultados análisis de mapa.

Fuente (Autor)

Se elimina la capa de mapa base, con la finalidad de publicar específicamente las capas de información creadas. Así al repetir nuevamente el proceso de análisis, se identifica que ya no se presentan errores, de ninguna capa sobre el mapa.

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

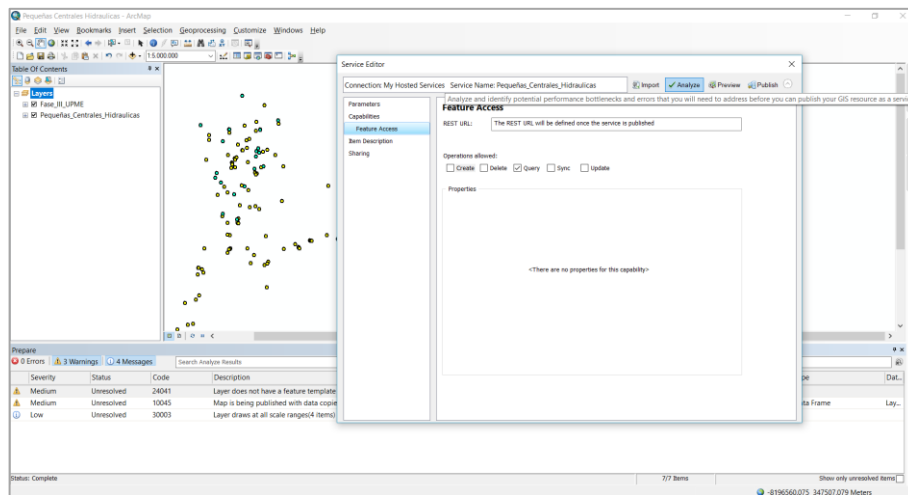


Imagen 33. Mapa que contiene únicamente la información de las capas creadas.

Fuente (Autor)

La herramienta publicar, realiza el proceso de subir el archivo, desde ArcMap hacia la web de ArcGIS desktop.

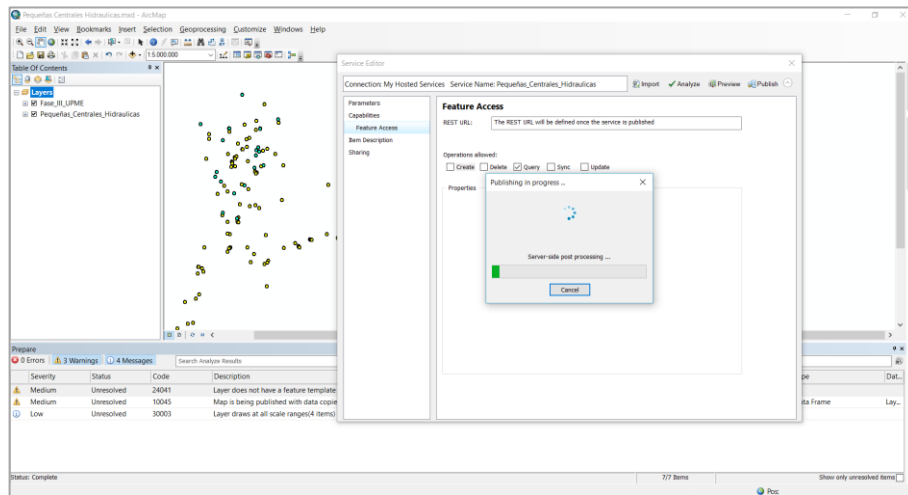


Imagen 34. Herramienta publicar mapa hacia la web de ArcGIS desktop.

Fuente (Autor)

El mapa subido en el paso anterior, se encuentra alojado en la cuenta creada anteriormente en la Web, por esta razón al abrir el vínculo galería en ARCGIS.com. Para observar el mapa en la herramienta web llamada Map viewer, seleccionamos el archivo que nos brinda esta opción.

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

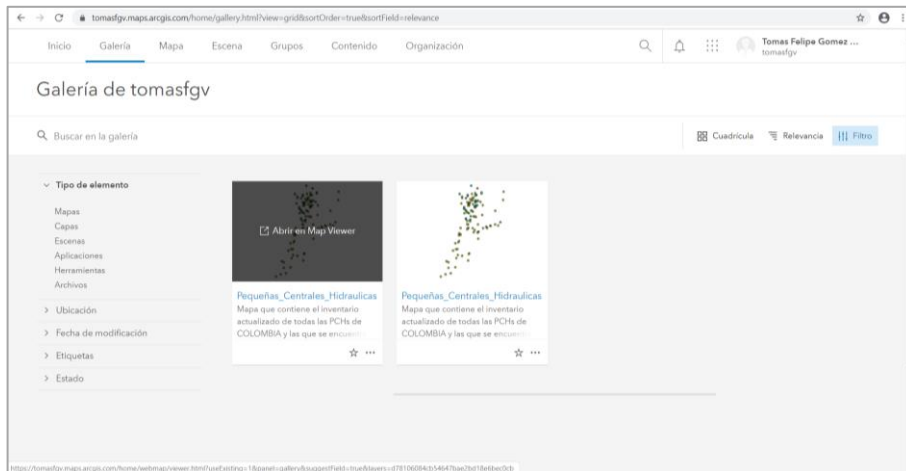


Imagen 35. Herramienta web: Map viewer.

Fuente (Autor)

En la herramienta visual que permite observar el mapa, seleccionamos el vínculo añadir mapa base, para visualizar nuevamente el mapa seleccionado en ArcMap. El mapa web, que se visualiza, permite observar que el mapa base es igual al seleccionado en ArcMap originalmente.

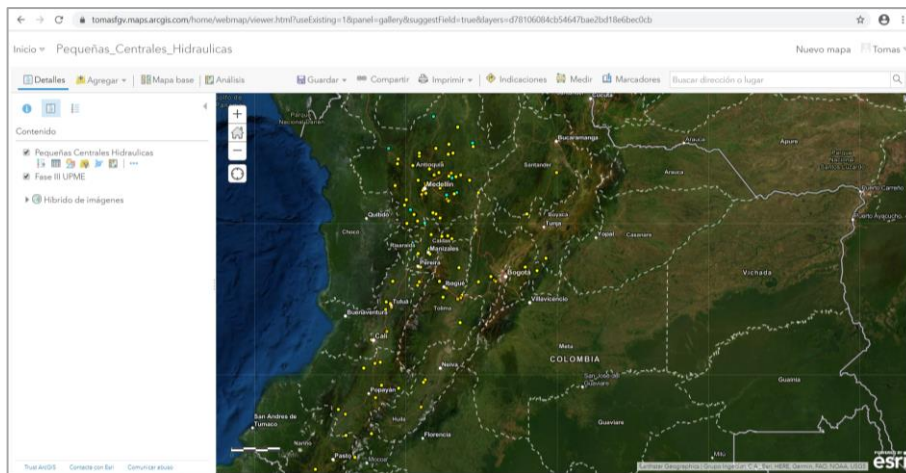


Imagen 36. Mapa web adicionando el mapa base original desde ArcGIS desktop.

Fuente (Autor)

Para visualizar la información alojada en cada uno de los puntos geográficos, se selecciona directamente sobre la capa de información: tabla de atributos, opción mostrar tabla, luego de esto se selecciona un punto aleatorio sobre el mapa, con la finalidad de verificar el acceso directo a la información alojada.

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

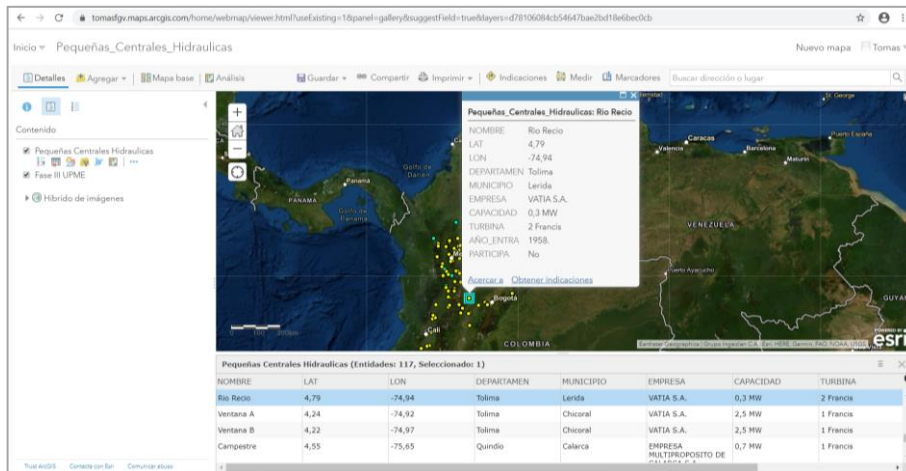


Imagen 37. Visualización de la tabla de atributos en ArcGIS desktop.

Fuente (Autor)

La visualización del mapa creado en la web, tiene herramientas para visualizar y dar relevancia a diferentes atributos tales como: símbolo, creación de etiquetas y demás, después de asignar un símbolo y una etiqueta que permite hacer relevancia a un atributo en específico, para este proyecto se da relevancia directa al nombre de las PCHs.

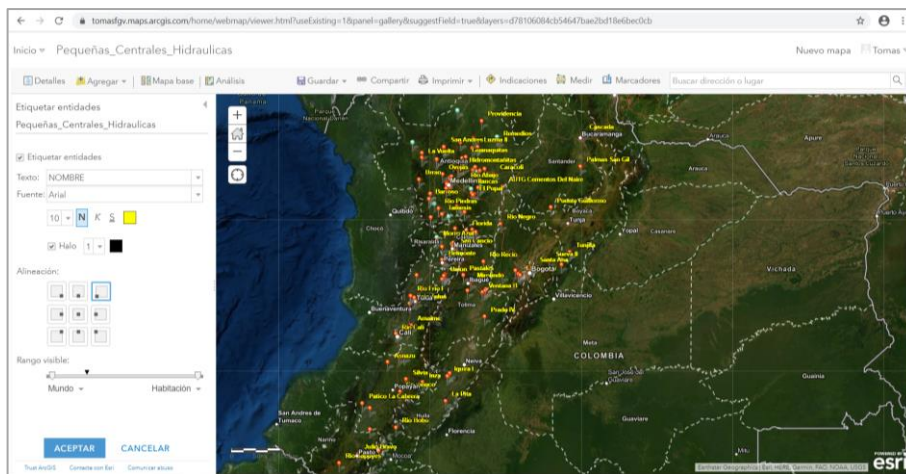


Imagen 38. Visualización de la etiqueta generada en ArcGIS desktop.

Fuente (Autor)

El resultado final del uso de las herramientas mencionadas en el paso anterior, se genera al guardar el mapa modificado.

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

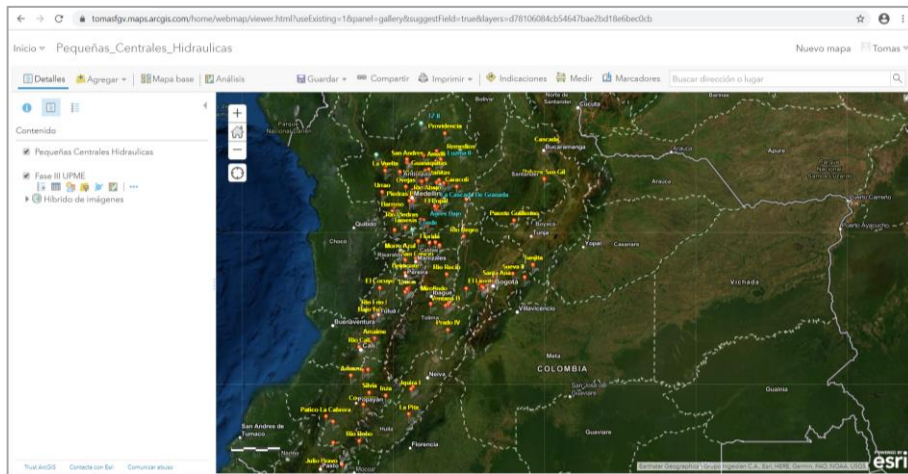


Imagen 39. Mapa modificado en ArcGIS desktop, resultado final.

Fuente (Autor)

Como último paso es necesario crear la interfaz visual de la aplicación, para esto se utiliza la herramienta compartir mapa, y posteriormente Web app builder.

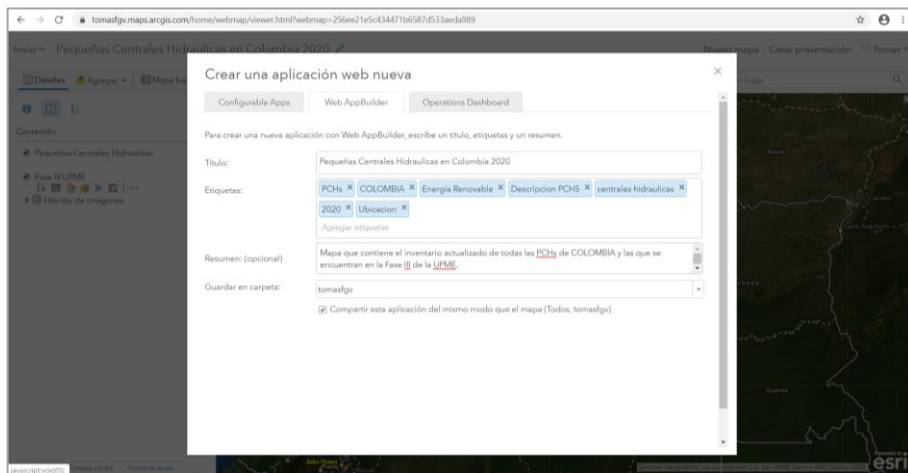


Imagen 40. Herramienta Web App builder.

Fuente (Autor)

Se selecciona cual es la interfaz gráfica de la aplicación, las herramientas que permiten visualizar de una manera más cómoda la tabla de atributos del mapa, cómo se filtra la información alojada en el mapa, en general se definen los parámetros visuales de la interfaz, el vínculo seleccionar herramientas de interés, permite especificar cuáles son las herramientas más adecuadas para visualizar la información alojada en el mapa.

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

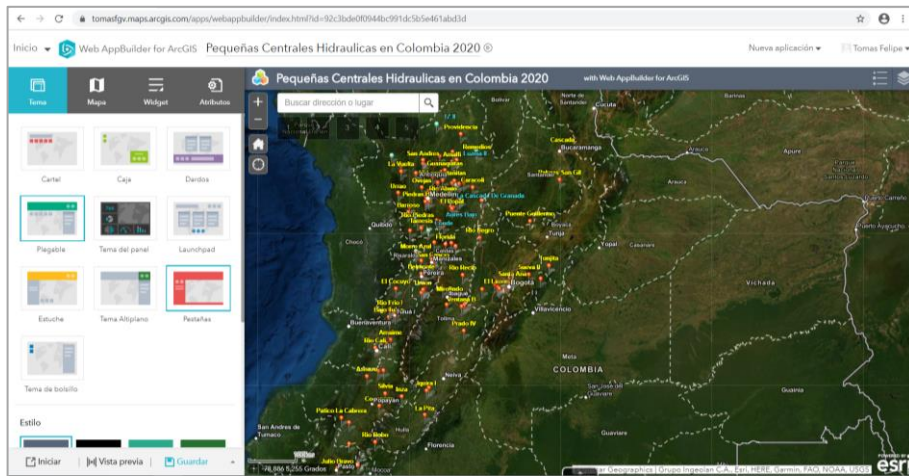


Imagen 41. Herramientas de modificación de la Interfaz gráfica de la aplicación.

Fuente (Autor)

Finalmente, desde la creación visual de la interfaz gráfica se crea el formato de visualización web, que permite observar la aplicación finalizada.

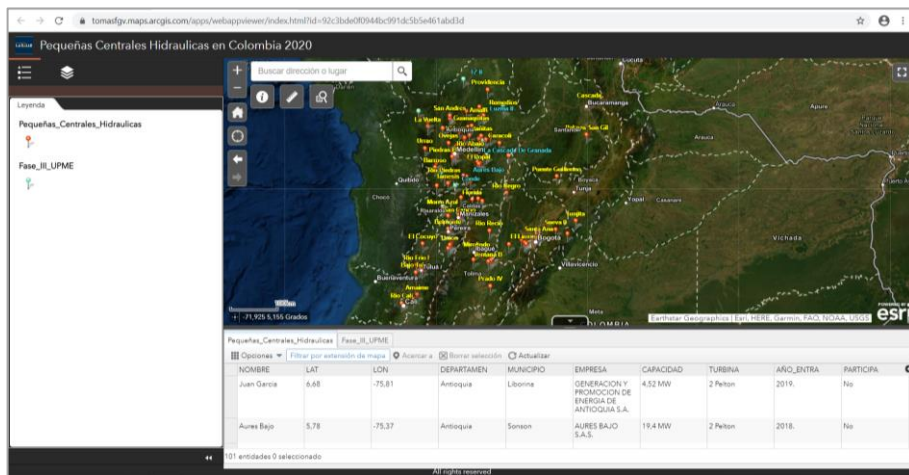


Imagen 42. Aplicación web finalizada.

Fuente (Autor)

#### 4.3.4 Validación de la aplicación SIG

La herramienta de validación para la aplicación, consiste en una encuesta de percepción, diseñada para: estudiantes, docentes y egresados de la universidad de la Salle, todos ellos asociados a la facultad de ingeniería eléctrica, con la finalidad de establecer un criterio de si efectivamente la aplicación creada en este proyecto cumple con los propósitos establecidos anteriormente en los objetivos. Cada pregunta mencionada establece una respuesta, la cual

se evalúa de manera porcentual, para establecer cuál es la percepción específica de cada usuario, en relación con cada criterio.

La encuesta se realizó utilizando diferentes criterios y opciones de respuesta, donde se evaluaron aspectos específicos de la aplicación web.

¿Qué tan probable es que usted recomiende esta aplicación a un amigo, estudiante, docente, o miembro de la comunidad académica en la que se encuentra?

- Nada probable
- Poco probable
- Probable
- Algo probable
- Muy probable

Esta pregunta se encuentra asociada directamente a la expansión y recomendación que los usuarios generaron acerca de la aplicación, para así determinar su acogida en la comunidad académica.

¿Qué tan satisfecho/a está con la confiabilidad de esta aplicación?

- Nada satisfecho
- Poco satisfecho
- Satisfecho
- Algo satisfecho
- Muy satisfecho

Esta pregunta se encuentra asociada a determinar si los usuarios se sintieron confiados al momento de utilizar y tomar recursos de la aplicación, de manera confiable para aumentar sus conocimientos académicos.

¿Qué tan satisfecho/a está con la capacidad para integrar otra aplicación con esta aplicación?

- Nada satisfecho
- Poco satisfecho
- Satisfecho
- Algo satisfecho
- Muy satisfecho

Esta pregunta se encuentra asociada a determinar si los usuarios consideran la posibilidad de poder realizar alguna integración de la aplicación, a otra aplicación ya establecida o utilizada en la rama del sector eléctrico.

¿Qué tan satisfecho/a está con la facilidad de uso de esta aplicación?

- Nada satisfecho
- Poco satisfecho
- Satisfecho
- Algo satisfecho
- Muy satisfecho

Esta pregunta permite determinar si las herramientas y opciones que presenta la aplicación, son de fácil o difícil uso.

¿Qué tan satisfecho/a está con la apariencia de esta aplicación?

- Nada satisfecho
- Poco satisfecho
- Satisfecho
- Algo satisfecho
- Muy satisfecho

Esta pregunta está asociada a la interfaz visual que tiene la aplicación, en términos de su apariencia, como los usuarios perciben que la interfaz visual es interesante y se observa de manera organizada.

¿Qué tan satisfecho/a está con la calidad de esta aplicación?

- Nada satisfecho
- Poco satisfecho
- Satisfecho
- Algo satisfecho
- Muy satisfecho

Esta pregunta permite determinar si los usuarios perciben que la aplicación se realizó utilizando los recursos suficientes en términos de calidad y esfuerzo profesional, intelectual, y académico.

¿Qué tan satisfecho/a está con la facilidad de acceso a esta aplicación?

- Nada satisfecho
- Poco satisfecho
- Satisfecho
- Algo satisfecho
- Muy satisfecho

Esta pregunta permite determinar cuál es la percepción que tienen los usuarios acerca de la facilidad al momento de poder tener un acceso directo a la aplicación, ya sea por el link de acceso, o una ruta específica para realizar la apertura de la aplicación.

¿Considera útil la creación y desarrollo de esta aplicación?

- Nada útil
- Poco útil
- útil
- Algo útil
- Muy útil

Esta pregunta permite generar una percepción acerca de si los recursos invertidos al realizar la aplicación, se justifican o no, en términos de que tan útil le resulta al usuario el tener disponible la aplicación para su beneficio académico.

¿Ha encontrado o utilizado aplicaciones similares a esta frecuentemente?

- Nada frecuentemente
- Poco frecuentemente
- Frecuentemente
- Algo frecuentemente
- Muy frecuentemente

Esta pregunta permite generar una percepción, acerca de si los usuarios han tenido acceso a aplicaciones similares a la creada en este proyecto, con una frecuencia determinada.

¿Considera que esta aplicación permite contar con un medio de difusión gráfico del uso de PCHs en Colombia, mejorando la comprensión de la información?

- SI
- NO

La pregunta final de la encuesta de percepción, se generó con la finalidad de determinar si efectivamente la aplicación creada, permite dar respuesta a la formulación del problema de este proyecto, es decir: La implementación de una herramienta visual del inventario actual de las PCHs, permitirá contar con un medio de difusión gráfico del uso de PCHs en Colombia.

## 5 CAPÍTULO V ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Análisis de datos

La investigación realizada en la primera parte de este proyecto, arrojó como resultado la consolidación de la información de una manera detallada, dicha información se encuentra inmersa en la base de datos de las pequeñas centrales hidráulicas en Colombia en el año 2020, debido a esto se realizó un análisis de los siguientes datos, con la finalidad de presentar la información al lector.

#### Capacidad Instalada

La imagen 46 permite apreciar la gráfica de las pequeñas centrales hidráulicas en Colombia para el año 2020 en relación con los rangos de capacidad instalada, con la finalidad de determinar cuáles son los rangos más utilizados actualmente por las PCHs.

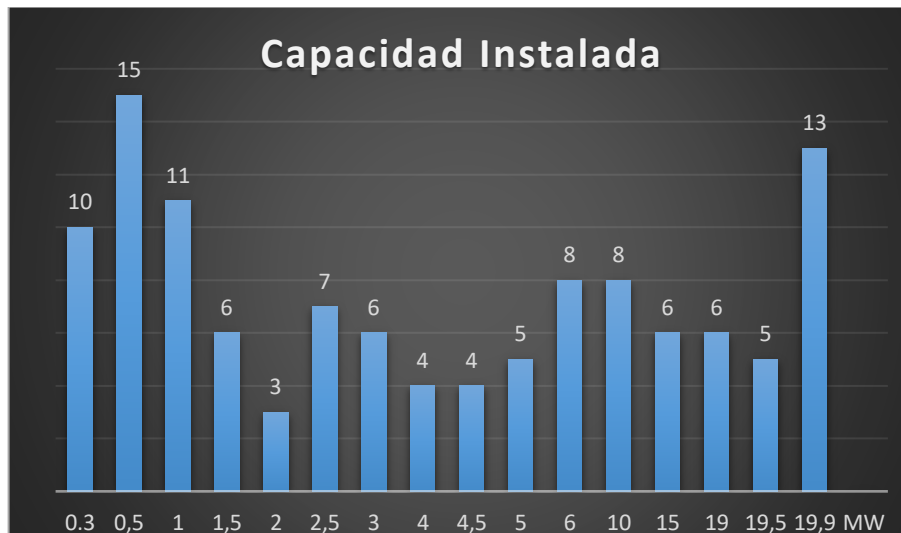


Imagen 43. Gráfico de las pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020 en relación con los rangos de capacidad instalada en MW.

Fuente: Autor

#### Tipo de turbina

La imagen 47 permite apreciar la gráfica de las pequeñas centrales hidráulicas en Colombia para el año 2020 en relación con el tipo de turbina utilizada por cada central, para así determinar cuáles han sido las tecnologías más implementadas a lo largo del tiempo, por las empresas operadoras de cada central hidráulica.

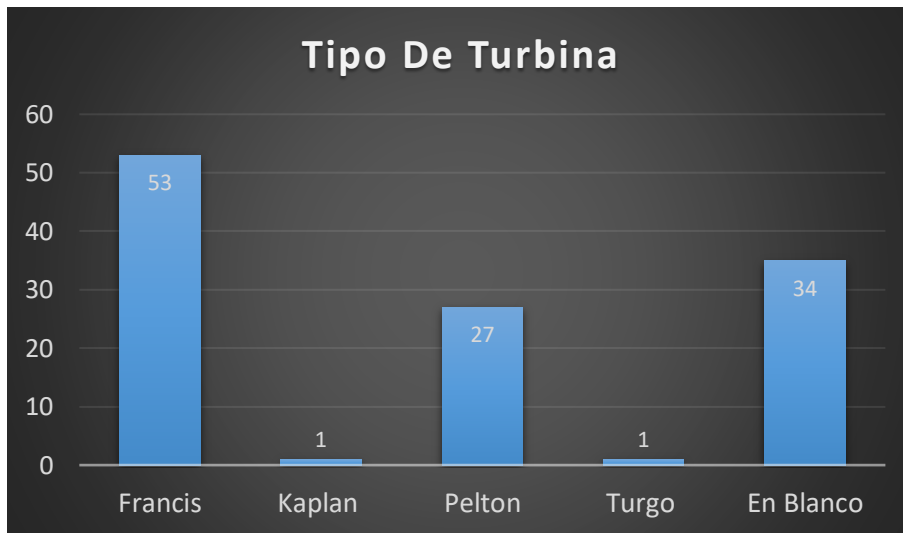


Imagen 44. Gráfico de las pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020 en relación con el tipo de turbina identificada en su funcionamiento.

Fuente: Autor

#### Año de entrada

La imagen 48 permite apreciar la gráfica de las pequeñas centrales hidráulicas en Colombia para el año 2020 en relación con el año de entrada y puesta en funcionamiento de cada central, con la finalidad de establecer cuáles son las centrales que conservan su participación en la generación a nivel nacional.

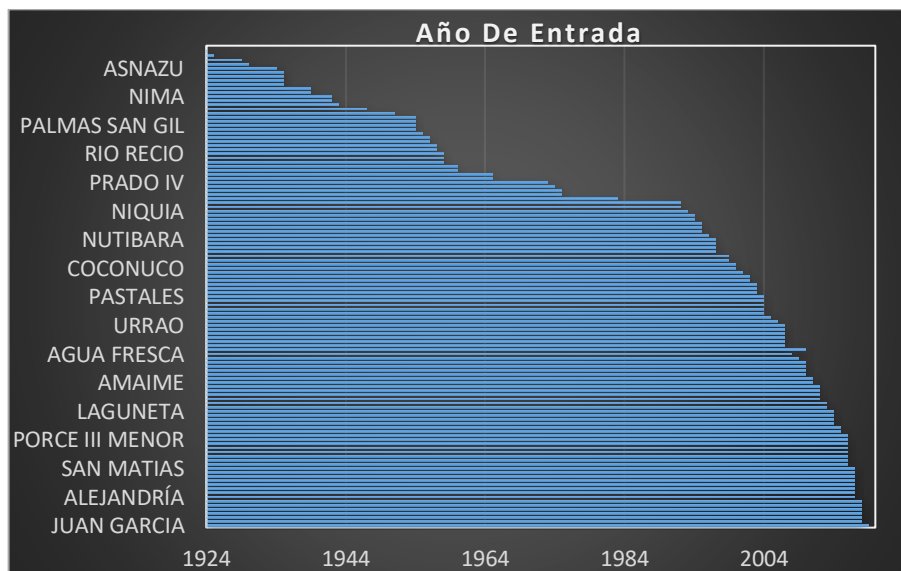


Imagen 45. Gráfico de las pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020 en relación con su año de entrada y puesta en funcionamiento.

Fuente: Autor

## 5.2 Encuesta de percepción de la aplicación SIG.

En esta sección se presentan las respuestas obtenidas, después de realizar la encuesta de percepción con los usuarios asociadas a la comunidad académica, esta encuesta fue realizada específicamente a cuarenta y dos miembros relacionados con la facultad de ingeniería eléctrica de la universidad de la Salle, divididos en: cuatro docentes, cinco egresados y treinta y tres estudiantes, estos últimos como se observa en la imagen 49 asociados al curso de generación de energía eléctrica.

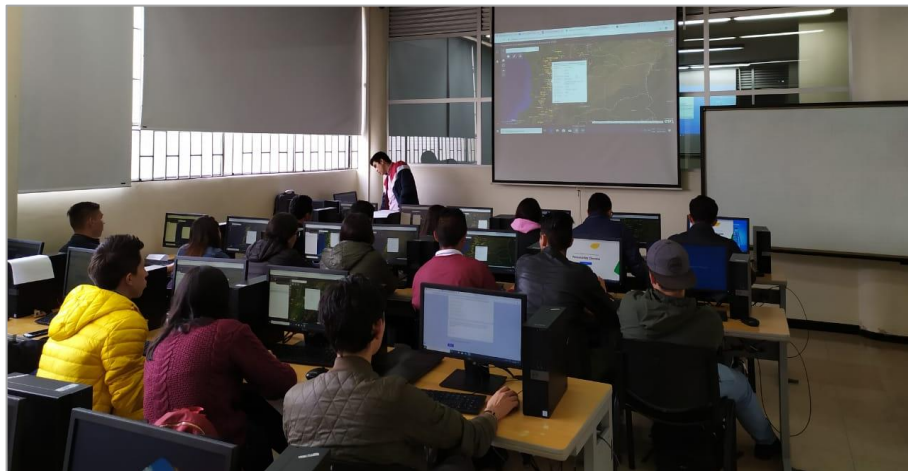


Imagen 46. Presentación a los estudiantes de la universidad de la Salle de la aplicación web y la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020.

Fuente: Autor

El link donde se encuentra alojada la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020, es el siguiente:

<https://tomasfgv.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=92c3bde0f0944bc991dc5b5e461abd3d>

Cada respuesta observada a continuación, se presenta en un rango de porcentaje, con el propósito de analizar de manera más específica el peso de cada criterio al momento de determinar la percepción de los usuarios en relación con la aplicación web.

1. ¿Qué tan probable es que usted recomiende esta aplicación a un amigo, estudiante, docente, o miembro de la comunidad académica en la que se encuentra?

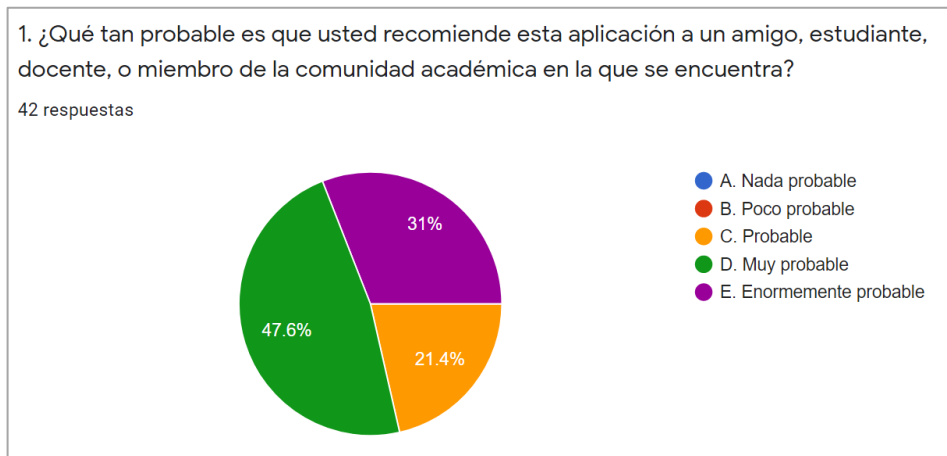


Imagen 47. Respuesta pregunta número uno de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020.

Fuente: Autor

2. ¿qué tan satisfecho/a esta con la confiabilidad de esta aplicación?

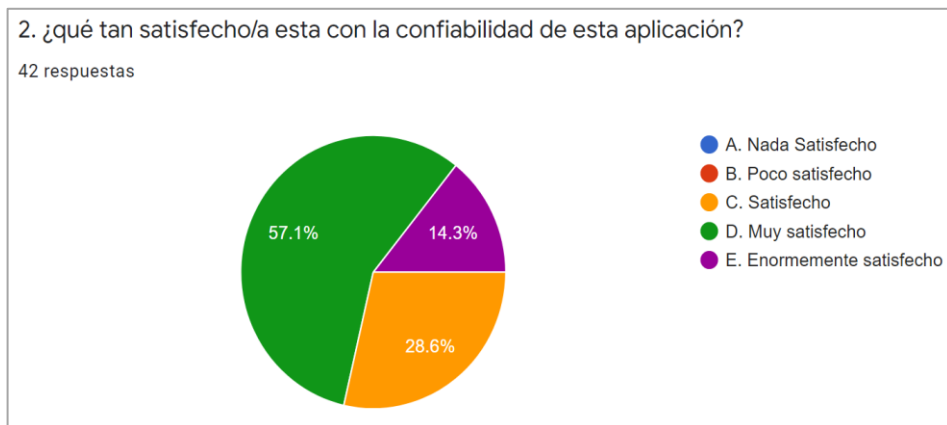


Imagen 48. Respuesta pregunta número dos de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020.

Fuente: Autor

3. ¿Qué tan satisfecho/a está con la capacidad para integrar otra aplicación con esta aplicación?

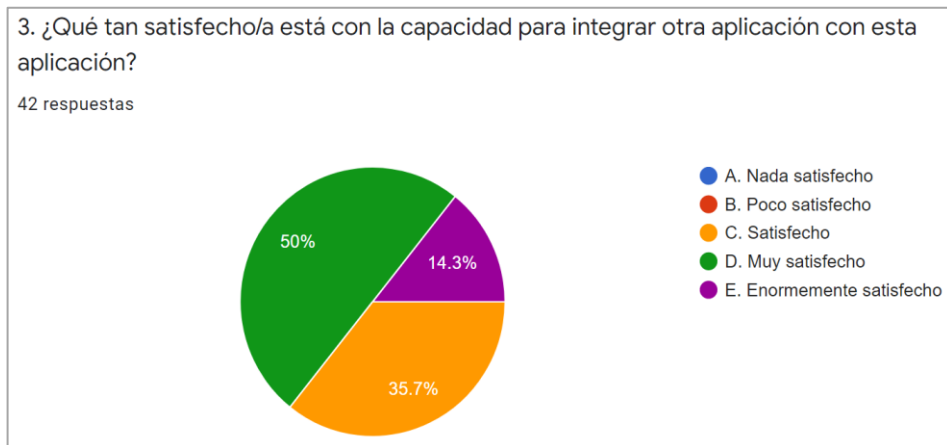


Imagen 49. Respuesta pregunta número tres de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020.

Fuente: Autor

4. ¿Qué tan satisfecho/a está con la facilidad de uso de esta aplicación?

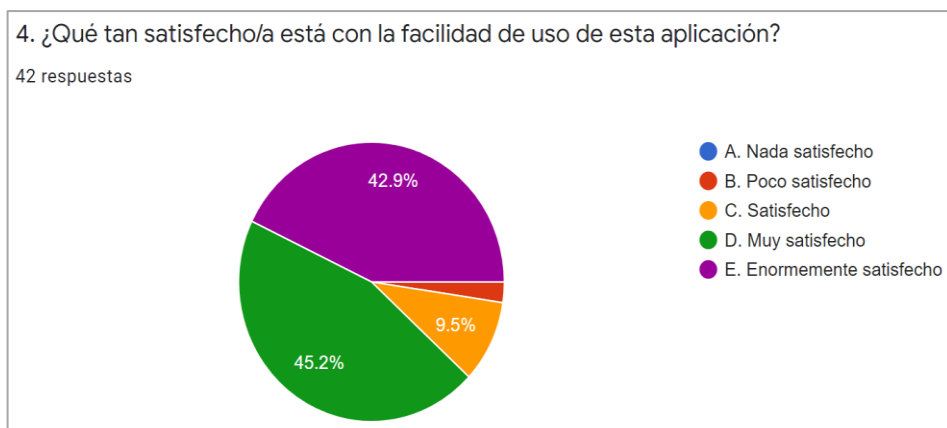


Imagen 50. Respuesta pregunta número cuatro de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020.

Fuente: Autor

5. ¿Qué tan satisfecho/a está con la apariencia de esta aplicación?

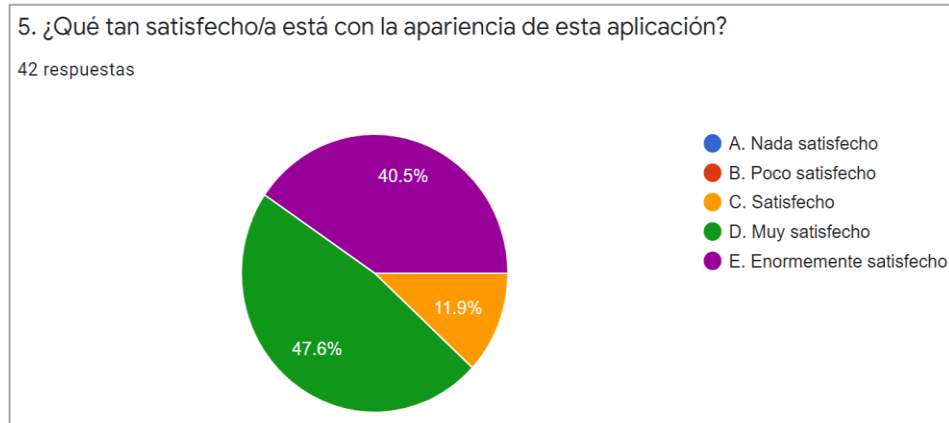


Imagen 51. Respuesta pregunta número cinco de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020.

Fuente: Autor

6. ¿Qué tan satisfecho/a está con la calidad de esta aplicación?

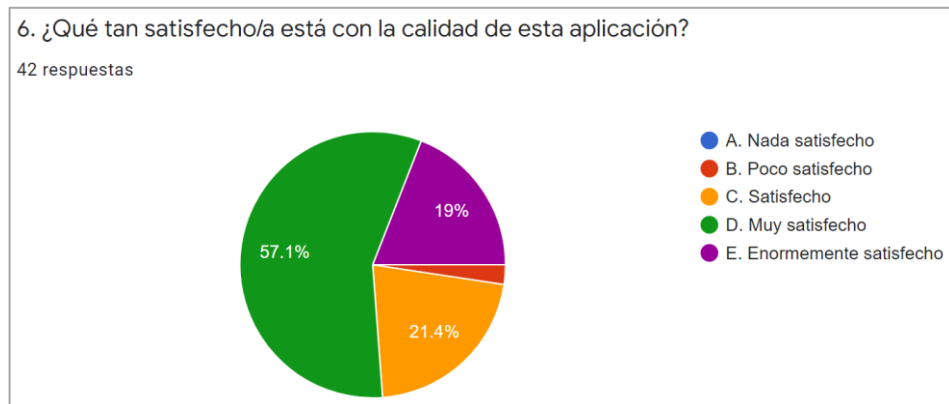


Imagen 52. Respuesta pregunta número seis de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020.

Fuente: Autor

7. ¿Qué tan satisfecho/a está con la facilidad de acceso a esta aplicación?

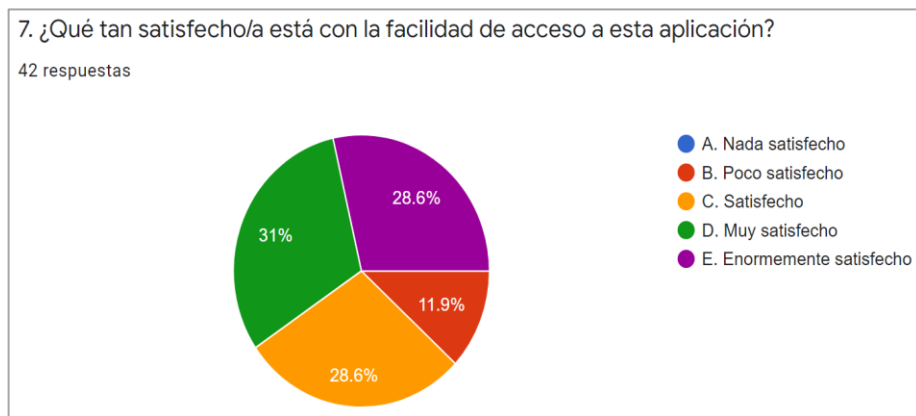


Imagen 53. Respuesta pregunta número siete de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020.

Fuente: Autor

8. ¿Considera útil la creación y desarrollo de esta aplicación?

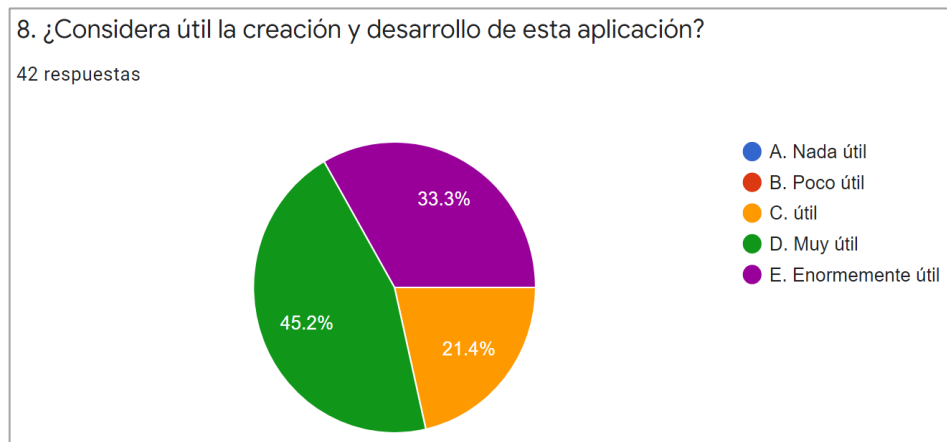


Imagen 54. Respuesta pregunta número ocho de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020.

Fuente: Autor

9. ¿Ha encontrado o utilizado aplicaciones similares a esta frecuentemente?

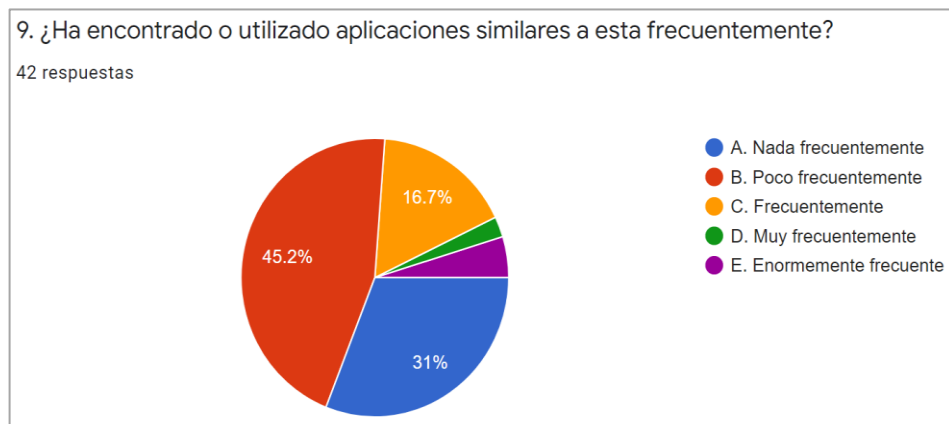


Imagen 55. Respuesta pregunta número nueve de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020.

Fuente: Autor

10. Considera que esta aplicación permite contar con un medio de difusión gráfico del uso de PCHs en Colombia, mejorando la comprensión de la información.

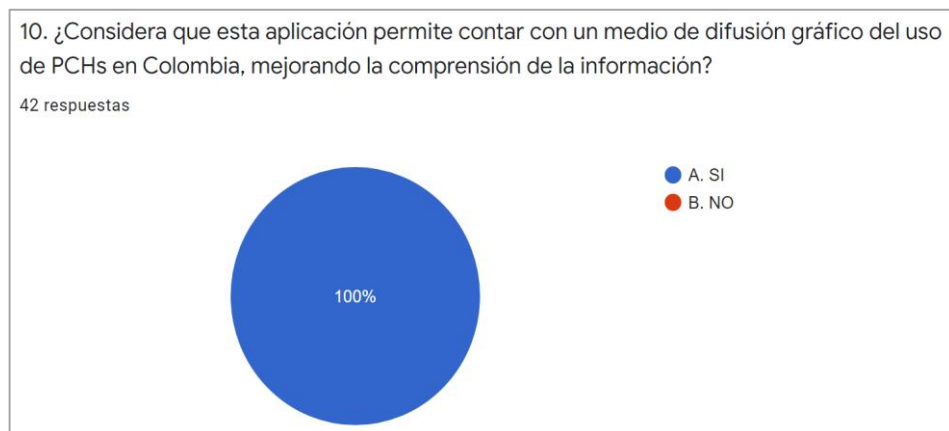


Imagen 56. Respuesta pregunta número diez de la encuesta de percepción de la aplicación pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020.

Fuente: Autor

### 5.3 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en este proyecto, se evidencia en relación a los objetivos planteados anteriormente, la discusión permite afianzar el conocimiento necesario para generar las conclusiones finales.

Actualizar el inventario de las PCHs que se encuentran en operación en Colombia y clasificarlas de acuerdo a sus características, posee un resultado eficiente, ya que: en una primera instancia se realizó la búsqueda de la información en las bases de datos web, igualmente en la empresa de operación y administración del sector eléctrico XM, arrojando un resultado favorable, encontrando la información de las pequeñas centrales hidráulicas que se encuentran en funcionamiento en la actualidad, para así en una segunda instancia realizar el procesamiento de dicha información de manera eficiente. La información consultada en cuanto al tipo de turbina utilizado por cada central hidráulica, se realizó por medio de una solicitud a la entidad XM, por intermedio de la dirección de la facultad de ingeniería eléctrica de la universidad de la Salle a la empresa directamente, dicha entidad respondió favorablemente la solicitud enviando un consolidado de la información del tipo de turbina que utilizan algunas de las pequeñas centrales hidráulicas que se encuentran en operación, razón por la cual se incluyó en la base de datos, solamente la información encontrada en las fuentes de información web y suministrada por dicha entidad. El SIG utiliza puntos exactos en coordenadas geográficas para enfatizar la información asociada a dichos puntos, debido a esto se realizó una consulta exhaustiva de cada central independientemente, para así determinar su ubicación precisa en coordenadas angulares; latitud (norte o sur) y longitud (este u oeste), y resaltar la información de cada una de ellas. Como resultado de ese proceso se generaron las ubicaciones exactas de las centrales hidráulicas, algunas de ellas debido a la falta de información se aproximaron a la fuente hídrica más cercana dependiendo de su lugar de ubicación, generando un aproximado confiable de la ubicación de dichas centrales. Finalmente con el consolidado de la información se obtuvo la base de datos confiable y actualizada de las PCHs que se encuentran en funcionamiento en la actualidad en Colombia.

La unidad de planeación minero energética (UPME), realiza proyecciones en función de mejorar el suministro de energía eléctrica a nivel nacional, para esto se reciben proyectos de implementación acerca de diversas formas de generación, entre estos se encuentra la proyección de la fase III, donde se determinan los proyectos que se implementarán o ya han sido implementados en la actualidad, inmersamente se encuentran las proyecciones acerca de las Pequeñas centrales hidráulicas. Satisfactoriamente se realizó la consulta y procesamiento de dicha información, generando exitosamente la inclusión de esta en la base de datos de este proyecto, en ella se puede observar cuales son las PCHs que se encuentran proyectadas y cuales ya han sido puestas en marcha de la fase III de la UPME.

La información alojada en la base de datos de este proyecto se analizó para afianzar el conocimiento acerca de tres características esenciales de las pequeñas centrales hidráulicas.

Los datos sobre la capacidad instalada de las pequeñas centrales hidráulicas, permiten determinar que en su gran mayoría, de las 116 PCHs que se encuentran actualmente en funcionamiento, 36 de ellas tienen una capacidad menor a 1MW esto dejando en evidencia que el 31,30% de las centrales instaladas, tienen una capacidad muy limitada de generación de 1,48 MW, en relación con las 13 centrales que tienen una capacidad de 19,9MW, es decir el 11,30% de las PCHs generan 238,8 MW de los 868,16 MW que generan en su totalidad todas las PCHs en Colombia.

Los datos proporcionados por la empresa XM acerca del tipo de turbina que utilizan las PCHs, junto con la información encontrada en las consultas realizadas, permiten determinar que de las 116 centrales que operan en la actualidad, 53 de ellas identificadas con tecnología de turbinas tipo Francis, es decir el 45,68% de las centrales producen energía utilizando este tipo de turbina, las 27 identificadas con tecnología de turbinas tipo pelton obedecen al 23,27% del total, tan solo 1 identificada utiliza tecnología de turbina tipo Kaplan, 1 identificada tecnología turbina tipo turgo, y las restantes 34 que aún no han sido identificadas, permiten establecer que el tipo de tecnología más utilizada en pequeñas centrales hidráulicas obedece principalmente a los rangos de caudal y caída de agua que se ajustan mejor a tecnologías tipo Francis y tipo pelton.

En Colombia se han venido instalando pequeñas centrales hidráulicas que se encuentran en funcionamiento actualmente, desde el año 1925 con la central Rio Cali ubicada en el municipio de Cali en el departamento del valle del cauca, hasta el año 1994 se instalaron 41 pequeñas centrales hidráulicas, desde el año 1994 hasta el 2004 se instalaron 25, desde el año 2004 hasta el 2014 se instalaron 27 y desde el 2014 hasta la actualidad se instalaron 29, esto permite deducir que los últimos 25 años han sido instaladas el 69,82% de las 116 PCHs que se encuentran en funcionamiento en la actualidad, afirmando así la importancia de estudiar cada día más la información relacionada con esta tecnología que se encuentran en crecimiento en el país.

La elaboración del sistema de información geográfica por medio de una herramienta computacional, se realizó eficientemente por medio del software ARCGIS, en una primera instancia se utilizó el método autodidacta, para obtener el conocimiento necesario acerca del funcionamiento y las herramientas proporcionadas por el software y así poder realizar la implementación de la información, después de diversas pruebas en el software se llegó satisfactoriamente a la implementación en el mapa que permite visualizar la base de datos

actualizada de cada una de las pequeñas centrales hidráulicas y la proyección de la fase III de la UPME, donde se observa la ubicación geográfica de cada central, y su información más relevante, para facilitar el uso del sistema de información geográfica se realizó la construcción de la interfaz de la aplicación, donde se incluyeron diferentes herramientas para facilitar la visualización y el manejo del SIG, llegando al resultado final de la aplicación: pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020, la cual se puede utilizar en el link descrito anteriormente.

La encuesta de percepción de la aplicación realizada a diferentes miembros de la facultad de ingeniería eléctrica de la Universidad De La Salle, Permite obtener un concepto del impacto y la percepción generados por la aplicación. Los resultados se evaluaron en cinco grados de valoración, donde si la sumatoria total de las respuestas esperadas es del 100% se considera excelente, si el resultado está entre el 100% y el 80% es sobresaliente, en el rango de 80% a 60% es aceptable, entre 60 y 40% es insuficiente, y menor a 40% es deficiente.

La percepción en cuanto a la expansión y recomendación que los usuarios generaron acerca de la aplicación, al preguntarles si recomendarían la aplicación a otros usuarios de la comunidad académica, se esperaba que los usuarios respondieran por encima del ítem probable recomendar la aplicación, el 31 % establecieron enormemente probable y 47,6% muy probable recomendar la aplicación, junto con el 21,4% de usuarios que afirmaron probable recomendar la aplicación arrojó un resultado excelente.

Establecer si los usuarios se sintieron confiados al momento de utilizar y toma recursos de la aplicación de manera confiable, para aumentar sus conocimientos académicos, se esperaba que los usuarios respondieran por encima del ítem satisfechos, el 14,3% afirmaron estar enormemente satisfechos y 57,1% enormemente satisfechos estos porcentajes junto con 28,6% de usuarios satisfechos, permiten determinar que la confiabilidad de los usuarios respecto de la aplicación arrojó un resultado excelente.

Determinar si los usuarios consideran la posibilidad de poder realizar alguna integración de la aplicación, a otra aplicación ya establecida o utilizada en la rama del sector eléctrico, se esperaba que los usuarios respondieran por encima del ítem satisfechos, el 14,3% estarían enormemente satisfechos, un 50% estarían muy satisfechos y el 35,7% satisfechos de poder integrar la aplicación a otra aplicación, arrojó un resultado excelente.

Determinar si las herramientas y opciones que tiene la aplicación, son de fácil o difícil uso, como los usuarios la perciben, se esperaba que los usuarios respondieran por encima del ítem satisfecho, el 42,9% están enormemente satisfecho, el 45,2% muy satisfechos, el 9,5%

satisfechos, y el 2,4% poco satisfecho, esto permite determinar que los usuarios consideran en su gran mayoría que la aplicación es de fácil uso, Arrojo un resultado sobresaliente.

En cuanto a la interfaz visual que tiene la aplicación, como los usuarios la perciben, se esperaba que los usuarios respondieran por encima del ítem satisfecho, el 40,5% afirmaron estar enormemente satisfechos, el 47,6% muy satisfechos y el 11,9% satisfecho, permite determinar que la interfaz visual es satisfactoria para los usuarios, arrojó un resultado excelente.

En cuanto a si los usuarios perciben que la aplicación se realizó utilizando los recursos suficientes en términos de calidad y esfuerzo profesional, intelectual, y académico, se esperaba que los usuarios respondieran por encima del ítem satisfecho, el 19% afirmó estar enormemente satisfecho, 57,1% muy satisfecho, 21,4% satisfecho y 2,4% satisfecho arrojo un resultado sobresaliente.

En la facilidad al momento de poder tener un acceso directo a la aplicación, ya sea por el link de acceso, o una ruta específica para realizar la apertura de la aplicación, se esperaba que los usuarios respondieran por encima del ítem satisfecho, el 28,6% esta enormemente satisfecho, 31% muy satisfecho, el 28,6% y el 11,9% poco satisfecho, los usuarios perciben en su gran mayoría que el acceso a la aplicación es bueno, arrojando un resultado sobresaliente.

Para establecer si los recursos invertidos al realizar la aplicación, se justifican o no, en términos de que tan útil le resulta al usuario el tener disponible la aplicación para su beneficio académico, se esperaba que los usuarios respondieran por encima del ítem útil, el 33,3% la consideran enormemente útil, 45,2% muy útil y el 21,4% útil, arrojando un resultado excelente.

Para Generar una percepción, acerca de si los usuarios han tenido acceso a aplicaciones similares a la creada en este proyecto, con una frecuencia determinada, se esperaba que los usuarios respondieran por debajo del ítem poco frecuentemente, el 31% afirmo que nada frecuentemente, 45,2% poco frecuentemente, 16,7% frecuentemente, 2,4% muy frecuentemente y 4,8% enormemente frecuentemente, arrojando un resultado aceptable.

De acuerdo al planteamiento del problema de este proyecto, el cual establece si la implementación de una herramienta visual del inventario actual de las PCHs, permite contar con un medio de difusión gráfico del uso de PCHs en Colombia, se estableció la última pregunta de la encuesta de percepción, arrojando un resultado excelente, ya que el 100% de los usuarios encuestados afirmaron, que SI, efectivamente la aplicación permite contar con un medio de difusión gráfico del uso de PCHs en Colombia, mejorando la comprensión de la información.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Actualizar el inventario de las pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA requiere un esfuerzo, intelectual, competente y académico exhaustivo en cuanto a investigación, la información asociada al tema de este proyecto está condicionada a las bases de datos que las empresas del sector eléctrico permitan distribuir, ya que el sector eléctrico maneja intereses que en ocasiones facilitan o dificultan el procesamiento de mucha información que es necesaria para realizar estudios profundos desde la academia, que permitan optimizar o plantear soluciones a problemáticas que se presenten en diferentes ámbitos que permitan mejorar el avance y manejo de la generación de energía eléctrica.
- El manejo competente de las herramientas y software disponibles en la actualidad, se ha facilitado con el avance de la documentación que se aloja en la web, ya que en la actualidad muchas empresas que prestan servicios de software, permiten tener acceso a la información que enriquece el conocimiento de los interesados en utilizar eficientemente dichos software para proporcionar innovaciones en herramientas que permitan el manejo eficiente y la facilidad de uso de la información, en este caso la información ms relevante de las PCHs.
- La aplicación web Pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020, permite contar con un medio de difusión gráfico del uso de PCHs en Colombia, generando una mejor comprensión de la información, ya que tiene una facilidad de uso, utilidad excelente, interfaz gráfica agradable para los usuarios, posibilidad de integración con aplicación similares a las que se encuentran en funcionamiento en el sector eléctrico actualmente, y sobre todo una excelente aprobación para la consulta y manejo de información actualizada en lo que se refiere a las pequeñas centrales hidráulicas que se encuentran en funcionamiento y cuales se encuentran proyectadas para su construcción en los años siguientes al 2020.
- La aplicación web Pequeñas centrales hidráulicas en COLOMBIA 2020, necesita un medio de difusión más eficiente, en la actualidad debido a que es una aplicación creada de forma tan reciente, el acceso a la aplicación se encuentra limitado al acceso del link donde esta se encuentra alojada, es por esto que es necesario utilizar un medio de difusión en el cual toda persona que necesite acceso a la información de las PCHs, pueda tener un acceso directo a la aplicación web.

- Es posible aumentar la cantidad de información asociada a las fuentes de generación que se utilizan en Colombia en la actualidad, en la base de datos de este proyecto se encuentra alojada toda la información asociada específicamente a las pequeñas centrales hidráulicas, sin embargo es posible aumentar la información asociando las pequeñas centrales térmicas, centrales hidráulicas de mayor capacidad, fuentes de energía renovable que asocien proyectos de generación eólica, solar fotovoltaica, y toda fuente de generación de energía, para así proporcionar una base de datos más amplia que permita realizar una mejor proyección y estudio del avance de la generación de energía eléctrica en COLOMBIA.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Blas Zamora Parra, A. V. (2016). Maquinas Hidraulicas . Universidad politécnica de Cartagena .
- Cardozo, C. M. (25 de julio de 2011). Centrales Hidroelectricas. *Componentes Básicos de un proyecto Hidroelectrico*. Olade.
- Esri. (2019). Obtenido de plataforma Arcgis: <http://www.sigs.info/productos/esri/plataforma-arcgis>
- Esri. (2019). Obtenido de Arcgis Resources: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- H.sostenible. (24 de octubre de 2013). *hidrologia sostenible*. Obtenido de <http://hidrologiasostenible.com/el-agua-en-el-planeta-en-perspectiva/>
- Hidroelectricidad, A. I. (13 de mayo de 2019). Informe de estado de la energía hidroeléctrica 2019. Londres, Reino Unido.
- Iagua. (14 de octubre de 2015). *Iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/genergea/agua-como-fuente-energia>
- IDAE. (octubre de 2006). Minicentrales hidroeléctricas. *Manuales de energia renovables*. madrid, España: IDAE.
- IEA. (2019). Estadísticas de energía. París, Francia: IEA .
- INEGI. (2014). Sistema De Informacion Geografica. Mexico.
- Lopez, E., posada, c., & Moreno, j. (1997). *Los sistemas de informacion geografica*. Sevilla, España: Universidad de sevilla .
- Marcos, M. P. (febrero de 2009). Maquinas de fluidos . *Turbinas pelton* . sevilla , España.
- Molina , F., Perez, S., & Rivera, S. (13 de Febrero de 2017). Formulación de Funciones de Costo de Incertidumbre en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas dentro de una Microgrid . Colombia: Universidad Nacional.

Tesis de grado “Actualización del inventario de PCHs en Colombia en una herramienta computacional para visualización web.”

Oecd. (2019). Obtenido de OECD mejores politicas para una vida mejor:  
<https://www.oecd.org/acerca/>

Palma Reyes, P. E. (31 de Octubre de 2018). Diseño de una turbina tipo kaplan para la generacion de energia hidraulica. Bogota, Colombia: Universidad Catolica.

Qgis. (22 de Marzo de 2020). Obtenido de QGIS DocumentationLogo:  
[https://docs.qgis.org/3.10/es/docs/user\\_manual/preamble/features.html](https://docs.qgis.org/3.10/es/docs/user_manual/preamble/features.html)

Romero, E. (10 de JULIO de 2009). El problema energético mundial. España: Repsol.

Sig, G. (2010). Obtenido de Sistemas e Informacion geografica, tipos y aplicaciones:  
<http://sig.cea.es/gvsig>

Upme. (2013). Estudio de generacion eléctrica bajo escenarios de cambio climatico . Cundinamarca, Colombia: UPME.

Upme. (2015). Cundinamarca, Colombia: UPME.

XM. (2015). *Informe de operacion del SIN*. Obtenido de XM:  
<http://informesanuales.xm.com.co/2015/SitePages/operacion/2-6-Capacidad-efectiva-neta.aspx>