

FACULTAD DE INGENIERÍA - UDELAR

SETIEMBRE 2021

SISTEMA DE INFORMACIÓN ESPACIAL
Y ESTADÍSTICO SOBRE ENERGÍA

Proyecto de Grado

enerGiS

Autores:

Victoria González - victoria.gonbar@gmail.com

Pablo Piazzze - pablopiazzze@gmail.com

Alvaro Callero - alvarocallero@gmail.com

Tutora:

Raquel Sosa

Resumen

El mundo está cambiando su matriz energética y Uruguay acompaña esta evolución. Estos cambios de paradigmas involucran muchas tareas y actores. Uno de los principales actores del país es el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM). El área de Planificación Estadística y Balance (PEB) del MIEM tiene a su cargo el Observatorio Energético Nacional, insumo sobre el cual se elaboran diversos modelos de Planificación Energética que sirven de soporte para las distintas políticas que aplica el país.

El área PEB tiene la necesidad de contar con un sistema de información geográfico, en el cual poder visualizar la situación energética del país y que sea un soporte a la toma de decisiones. Dicho sistema debe incluir información de los mapas energéticos propios del MIEM, mapas externos de otras instituciones e información relacional con diferentes datos de encuestas y estadísticos. Este gran volumen de información proviene de diversas fuentes, está representada en distintos formatos y no se encuentra sistematizada.

En base a las necesidades del MIEM se plantea este proyecto con el objetivo de proponer un Sistema para Información Espacial y Estadística sobre Energía.

A partir del estudio y análisis de trabajos relacionados en aplicaciones GIS en el área de Energía, se analizan las necesidades particulares del MIEM. Se elabora una propuesta de la arquitectura de la solución centrada en las necesidades del Ministerio, teniendo en cuenta los distintos tipos de usuarios que utilizarán el sistema. También se realiza un análisis completo de los datos actuales proponiendo un diseño conceptual para su sistematización. Se definen la conversión de datos a una base de datos relacional geográfica, la publicación de dichos datos en un servidor geográfico, la implementación de un visualizador web geográfico y la generación de la documentación necesaria para el mantenimiento del sistema como las actividades centrales del proyecto.

Al finalizar el proyecto se logra cumplir el objetivo planteado, migrando un gran volumen de datos del área PEB y dejándolos sistematizados para su publicación en una arquitectura basada en software libre (QGIS, Geo-Server, PostGIS). Se apoya además en la puesta en producción del proyecto por parte del MIEM y con documentación para que el personal del MIEM pueda seguir migrando su información y manteniendo el proyecto.

Palabras clave: *Sistema Información Geográfica, Ministerio de Industria, Energía y Minería, Planificación Estadística y Balance, GeoServer, QGis, Postgis.*

Índice

1. Introducción	5
1.1. Motivación	5
1.2. Objetivos	6
1.3. Aportes del proyecto	6
1.4. Organización del documento	7
2. Marco Teórico	9
2.1. Planificación Estadística y Balance (PEB)	9
2.1.1. Observatorio Energético	11
2.1.2. Planificación Energética	12
2.2. Energía renovable	13
2.2.1. Energía solar	13
2.2.2. Energía eólica	14
2.2.3. Energía hidráulica	15
2.2.4. Biomasa	16
2.3. Datos espaciales y Tecnologías GIS	17
2.3.1. Datos espaciales y geográficos	17
2.3.2. Modelos de Datos Geográficos	18
2.3.3. Sistema de información geográfico (SIG)	23
2.3.4. Open Geospatial Consortium (OGC)	25
2.4. Trabajos relacionados	27
2.4.1. Soluciones GIS en el sector energético en otros países	28
2.4.2. Lecturas relacionadas con el sector energético	30
3. Análisis y Diseño	37
3.1. Usuarios	37
3.2. Requerimientos	38
3.2.1. Visualizador	38
3.2.2. Mantenimiento de Capas	39
3.2.3. Geo-Servicios	40
3.2.4. Datos	41
3.3. Casos de uso críticos	41
3.4. Diseño visualizador web	42

4. Datos	44
4.1. Datos de negocio	44
4.2. Modelo conceptual	48
4.3. Conversión y carga	50
4.3.1. Conversión archivo KMZ	50
4.3.2. Proceso de carga	53
5. Arquitectura e Implementación	58
5.1. Arquitectura de la solución	58
5.2. Productos utilizados	60
5.2.1. Base de datos	61
5.2.2. Servidor geográfico	61
5.2.3. Servidor de aplicaciones	62
5.2.4. Cliente Web	62
5.2.5. Cliente escritorio GIS	62
5.3. Prototipo aplicación web	63
5.4. Pruebas y Validación	67
6. Gestión de Proyecto	69
6.1. Gestión	69
6.1.1. Fases del Proyecto	70
6.1.1.1. Planificación e Investigación	70
6.1.1.2. Análisis y Diseño	71
6.1.1.3. Desarrollo	71
6.1.1.4. Pruebas y Documentación	72
6.1.2. Desviaciones	72
6.1.3. Metodología	73
6.2. Herramientas	74
7. Conclusiones y Trabajo futuro	75
7.1. Conclusiones	75
7.2. Trabajo futuro	77
8. Anexo: Conjunto de Datos Ministerio	85

1. Introducción

1.1. Motivación

Una de las preocupaciones que se presentan en el siglo actual, es lograr que el planeta sea sustentable. Naciones Unidas publicó una hoja de ruta con los objetivos a mediano y largo plazo, para conseguir un futuro sustentable para todos [1]. Uno de los objetivos se centra exclusivamente en las Energías Asequibles y no contaminantes, buscando reducir al mínimo la utilización de energías no renovables en el mundo y proveer acceso universal a toda la población.

Uruguay como país miembro de Naciones Unidas, está llevando adelante una transformación de su matriz energética. En el año 2005 se planteó un plan estratégico para la utilización de Energías Renovables, promoviendo desde el gobierno distintas líneas de acción multidisciplinarias [2]. Esta estrategia necesita sustentarse de buenos modelos de datos para la toma de decisiones. Contar con informes de control y seguimiento que permitan ajustar, modificar o confirmar que lo planeado está dando resultado.

El área de Planificación Estadística y Balance del Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), se encarga de elaborar el Balance Energético Nacional, el Inventario de Gases de Efecto Invernadero, las estadísticas energéticas nacionales oficiales, y generar insumos para los modelos de Planificación Energética, con los que se ensaya y evalúan las diversas políticas energéticas.

Si bien el Ministerio cuenta con usuarios con experiencia previa en el uso de Sistemas de Información Geográfico, no disponían de datos sistematizados para poder utilizarlos en un sistema centralizado. Hasta el momento, la metodología de trabajo utilizada para manejar estos datos sobre Energía, se basaba en la manipulación de un archivo en formato KMZ, compatible con Google Earth. Trabajar con este archivo tiene sus dificultades, no se cuenta con una Base de Datos sistematizada y el trabajo de cada usuario se realiza de forma independiente, lo cual puede provocar datos duplicados o inconsistentes. Por lo tanto resulta de gran importancia para el Ministerio contar con un Sistema de Información Geográfica (SIG) para tener una visión completa del mapa Energético del país, pudiendo a su vez procesar los datos en un único sistema central.

1.2. Objetivos

Proponer un Sistema para Información Espacial y Estadística sobre Energía. La solución debe estar diseñada de tal forma que cubra las necesidades del área de Planificación Energética, permitiendo una continua carga de información por parte del Ministerio.

Para cumplir con el objetivo principal, se definen los siguientes objetivos específicos:

a) Estudio Inicial del dominio, conceptos base y trabajos relacionados:

Realizar un estudio detallado acerca del estado del arte para el sector energético de nuestro país.

b) Diseño de una propuesta de aplicación y su arquitectura, pruebas de concepto:

Discutir distintos diseños acerca de la solución con el Ministerio.

c) Implementación de un prototipo de la aplicación:

Construir un prototipo que contenga funcionalidades acorde a las necesidades del Ministerio.

d) Migración de datos:

Realizar la migración de un conjunto acordado de datos estableciendo un procedimiento y guía para esta tarea.

e) Pruebas de la aplicación y documentación:

Llevar a cabo pruebas para determinar el correcto funcionamiento de la solución construida, y elaborar la documentación final con la cual el cliente pueda dar continuidad a la solución.

1.3. Aportes del proyecto

Los principales aportes que se lograron con este proyecto son:

- Análisis de distintos Sistemas de Información Geográficos existentes en otros

países. Comprender los puntos fuertes y débiles de estos sistemas, lo cual se refleja en el marco teórico de este informe.

- Centralizar el manejo de datos geográficos y estadísticos proveniente de diferentes fuentes, formatos y granularidad. Lograr manipular y procesar dicha información en un único sistema, gracias a la construcción del prototipo.
- Comprender cuál es el estado actual del país en cuanto al porcentaje de uso de energías renovables y amigables con el medio ambiente, y lograr comprender qué tan lejano está el país de poder sustentar el suministro eléctrico solamente en base a alternativas renovables.
- Facilitar al Ministerio la creación de informes y toma de decisiones, apoyándose en las distintas herramientas y componentes de la solución.
- Proporcionar al Ministerio una solución base sobre la cual pueda evolucionar, de forma de generar su propio portal geográfico para compartir información con otras instituciones.
- Dotar al Ministerio con una solución que les permita trabajar de forma colaborativa sobre el conjunto de datos.

1.4. Organización del documento

El documento está organizado en diferentes capítulos, los cuales son presentados y descritos a continuación.

El Capítulo 2 comprende el marco teórico, el cual expresa los conocimientos previos que fueron necesarios para lograr comprender qué implica la construcción de un sistema de información incluyendo tecnologías geográficas.

El Capítulo 3 muestra el análisis y diseño realizado, en donde se especifican los tipos de usuarios que existirán en el sistema, y se construyen los requerimientos para determinar las funcionalidades provistas por el prototipo.

El Capítulo 4 está centrado en describir el trabajo realizado sobre los datos del negocio, la elaboración de un nuevo modelo conceptual y el trabajo de conversión

de datos para la nueva solución.

El Capítulo 5 describe la arquitectura e implementación, en donde se explica de forma detallada cómo es la interacción de los diferentes componentes que conforman el prototipo, así como también las decisiones que se tomaron para construir el sistema.

El Capítulo 6 contiene las conclusiones del trabajo realizado, así como también una lista de funcionalidades adicionales que se podrían agregar a futuro para enriquecer aún más la aplicación.

2. Marco Teórico

En este capítulo, se desarrollan los conceptos centrales y el estudio previo que se llevó a cabo para poder adquirir los conocimientos necesarios para lograr comprender los conceptos centrales del proyecto. Estos servirán de guía para poder construir el sistema de información planteado.

2.1. Planificación Estadística y Balance (PEB)

Dentro del MIEM se encuentra el área de Planificación Estadística y Balance (PEB), el cual tiene como objetivo conducir el Observatorio Energético. Haciendo uso de una base de datos de información estadística y geográfica, realizan el Balance Energético Nacional, el Inventario de Gases de Efecto Invernadero y fundamentalmente, utilizan dicha información como insumo para los modelos de Planificación Energética, con los que se ensayará y evaluarán las diversas políticas energéticas. A su vez, se encarga de generar las estadísticas energéticas nacionales oficiales, como también conducir la Planificación Energética, generar estudios de corto y largo plazo que permitan adelantarse a las necesidades energéticas de infraestructura, así como determinar su impacto ambiental.

En la Figura 1 se puede apreciar el organigrama del equipo de trabajo del PEB correspondiente al año 2020:

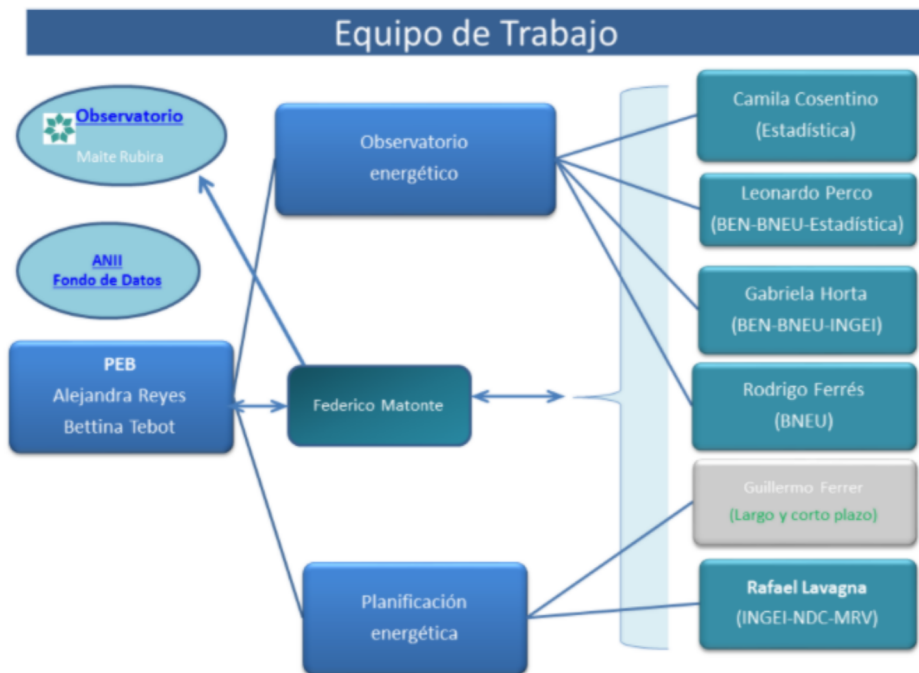


Figura 1. Equipo de Trabajo del PEB - MIEM (2020).

A continuación se listan algunas de las principales tareas que realiza el equipo de trabajo:

- Coordinar las actividades de investigación y proponer estudios de prospectivas energéticas destinadas a desarrollar y evaluar los instrumentos de políticas energéticas de corto y largo plazo.
- Coordinar estudios de análisis multidimensional de las políticas energéticas, evaluando aspectos económicos, sociales y ambientales.
- Coordinar con entidades públicas y privadas para disponer de la información en tiempo y forma. Coordinar el análisis y procesamiento de la misma para poder difundir en forma clara y concisa las estadísticas nacionales.
- Coordinar la elaboración y publicación del Balance Energético Nacional y gestionar la información necesaria para su elaboración.

- Coordinar la elaboración del Inventario de Gases de Efecto Invernadero, del sector energía, y gestionar la información necesaria para su elaboración.
- Coordinar con otros actores internos como externos a la DNE involucrados en la Planificación Energética.
- Proponer y coordinar el desarrollo y seguimiento de indicadores que permitan monitorizar las políticas energéticas implementadas, así como el comportamiento del sector energético, incorporando variables económicas.
- Asesorar técnicamente a la Dirección en los aspectos técnico-económicos así como sociales y ambientales relacionados a la política energética.

En los siguientes puntos, se detallan los objetivos y actividades para las áreas de Observatorio Energético y Planificación Energética.

2.1.1. Observatorio Energético

Su principal objetivo consta de realizar los estudios de estadísticas energéticas, gestionar la realización del Balance Energético Nacional, generar las estadísticas Energéticas Nacionales y elaborar el Inventario de Gases de Efecto Invernadero del sector energía. Por otro lado, también tiene la tarea de difundir las estadísticas energéticas nacionales en forma clara, detallada y oportuna.

Dentro del Observatorio Energético se encuentran las siguientes actividades:

- Proponer estudios de caracterización de la demanda energética, que permitan cumplir con los objetivos de la división de generar y mantener actualizada en forma oportuna las estadísticas energéticas nacionales.
- Coordinar y gestionar el funcionamiento de un “comité estadístico”, integrado por actores públicos y privados generadores de información energética.
- Analizar, generar y mantener actualizado el paquete de indicadores propuestos para monitorear el desempeño de las políticas energéticas implementadas y coordinar el seguimiento de los mismos.
- Gestionar las actividades para poder disponer de la información energética necesaria para construir el Balance Energético Nacional.

- Coordinar con la División de Planificación Energética la información de base para poder desarrollar los estudios de prospectiva energética.
- Coordinar el apoyo en el diseño de estudios estadísticos para las áreas comprendidas en la DNE.
- Gestionar las actividades para poder disponer de la información energética y de actividad necesaria para elaborar el Inventario de Gases de Efecto Invernadero del sector energía.

2.1.2. Planificación Energética

Su objetivo es el de coordinar estudios de planificación indicativa de corto y largo plazo. Estos incluyen previsiones sobre el comportamiento futuro de la demanda, los recursos necesarios para satisfacerla, la evolución de las condiciones del mercado para garantizar el suministro y los criterios de protección ambiental. Adicionalmente realizan un conjunto de previsiones que se convierten en instrumento esencial al servicio de instancias administrativas y de operadores económicos, facilitando tanto la toma de decisiones de inversión por parte de la iniciativa privada, como las decisiones de política energética.

Las actividades que se realizan son las siguientes:

- Generar estudios de planificación energética destinados al desarrollo, evaluación y seguimiento de los instrumentos de política de largo plazo para el sector energético.
- Realizar estudios de largo plazo definiendo las hipótesis de trabajo y escenarios en coordinación con las diferentes áreas de la DNE.
- Desarrollar proyecciones de largo plazo de precios de los recursos energéticos, mediante el análisis de tendencias mundiales e impactos regionales. Generando correlaciones y definiendo su dependencia con el precio del petróleo.
- Realizar estudios y monitorear en forma continua tendencias internacionales y regionales sobre incorporación de nuevas fuentes y tecnologías, realizando análisis de viabilidad económica y ambiental de penetración.

- Realizar estudios de tendencias históricas de demanda energética y su relación con indicadores económicos.
- Desarrollar e implementar modelos econométricos que expliquen el comportamiento del sector energético y que permitan, mediante ajustes de variables explicativas, realizar proyecciones de demandas anuales con un horizonte de 3 a 6 años.

2.2. Energía renovable

Se entiende por energía renovable como aquella energía la cual se origina de fuentes naturales que son virtualmente inagotables, éste puede ser tanto por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales [3].

2.2.1. Energía solar

Es aquella la cual se obtiene directamente del sol. La radiación solar que incide en nuestra atmósfera y también en la superficie del planeta, puede ser aprovechada por medio de la capacidad de recuperar el calor generado, ya sea por medio de colectores solares o mediante la utilización de celdas fotovoltaicas.

En lo que respecta a los colectores solares, los mismos utilizan paneles (Figura 2) o espejos para absorber y concentrar el calor solar, transferirlo a un fluido, y conducirlo por tuberías para su aprovechamiento en edificios e instalaciones, o también para la producción de electricidad, la cual es denominada electricidad solar termoeléctrica.



Figura 2. Parque solar fotovoltaico ubicado en las afueras de Montevideo, Uruguay [4].

Por otro lado, las celdas fotovoltaicas, convierten la luz del sol directamente en electricidad por el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones (es decir, partículas lumínicas) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica [5].

2.2.2. Energía eólica

La energía eólica es la que se genera del viento, más precisamente mediante el aprovechamiento de la energía cinética de las masas de aire que se encuentran en constante movimiento.

Desde tiempos remotos es que se logra aprovechar la energía eólica, antiguamente mediante el uso de molinos de viento, y en la actualidad por medio de aerogeneradores destinados a la generación de energía eléctrica.

Los aerogeneradores (Figura 3) y molinos de viento mueven las hélices, que producen el movimiento giratorio de un eje, dicho movimiento giratorio es aprovechado mediante sistemas mecánicos que hacen girar el rotor de generadores para producir energía eléctrica, o normalmente un alternador.

Para que la instalación de aerogeneradores resulte económicamente viable, suelen agruparse en concentraciones de aerogeneradores denominadas parques eólicos [3].



Figura 3. Parque eólico de UTE ubicado en Artigas, Uruguay [6].

2.2.3. Energía hidráulica

La energía hidráulica es aquella la cual se obtiene mediante el aprovechamiento de las energías cinética y potencial, que surge de la corriente de los ríos, saltos de agua o mareas.



Figura 4. Represa hidroeléctrica Gabriel Terra, Rincón del Bonete, Uruguay. [7]

La energía hidráulica es catalogada como energía renovable pues no se agota la fuente primaria al explotarla, la misma es limpia, ya que no produce en su explotación sustancias contaminantes de ningún tipo. Sin embargo, la construcción

de grandes centrales hidroeléctricas (Figura 4), puede provocar un alto impacto medioambiental (paisaje, flora, fauna, sociedad) [3].

2.2.4. Biomasa

La biomasa comprende aquellos recursos energéticos que provienen de materia orgánica, en términos energéticos, se considera una fuente renovable. Dentro de la biomasa, se encuentran recursos tales como la leña, el biodiesel, el bioalcohol, el biogás, los desechos forestales, etc.

El origen de la energía de la biomasa puede ser tanto animal como vegetal y puede haber sido obtenida de manera natural o proceder de transformaciones artificiales que se realizan en las centrales de biomasa. Esta materia se convierte en energía al aplicarle distintos procesos químicos.



Figura 5. Planta de Biodiesel, Capurro, Uruguay. [8]

La energía de la biomasa proviene en última instancia del sol. Los vegetales y los animales absorben y almacenan una parte de la energía solar que llega a la tierra en forma de alimento y energía. Cuando esto ocurre, también se crean subproductos que no sirven para los seres vivos ni pueden ser utilizados para fabricar alimentos, pero sí para hacer energía de ellos. [9]

2.3. Datos espaciales y Tecnologías GIS

2.3.1. Datos espaciales y geográficos

Los datos espaciales hacen referencia a entidades espacio/temporales las cuales logran cuantificar la distribución, el estado y las relaciones de los distintos fenómenos u objetos naturales o sociales.

Un dato espacial es por lo tanto aquella componente temática que refiere ya sea directa o indirectamente a una localización espacial de un soporte en particular, estas componentes reciben el nombre de componentes espaciales. Las componentes espaciales permiten ubicar espacialmente los soportes [10].

La componente espacial puede ser referenciada de dos maneras:

- Directa, indicando en forma exacta la ubicación en un sistema de referencia adoptado (por ejemplo: un sistema de coordenadas cartesianas, un sistema de coordenadas heliocéntrico, un sistema de coordenadas mundial).
- Indirecta, deducido a partir de algunas de las otras componentes temáticas.

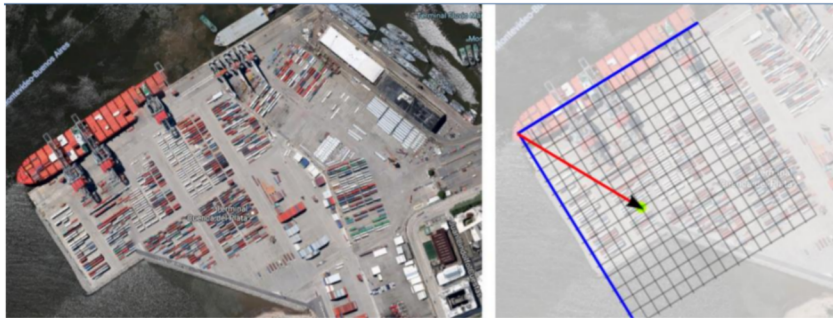


Figura 6. Un contenedor del Puerto de Montevideo puede ser localizado dentro de un sistema de referencia propio.

Otro concepto importante es el dato geográfico. Es donde los datos espaciales pueden ser referidos a una determinada localización espacial absoluta, bajo dicha hipótesis, es que estamos frente a un dato geográfico. El término absoluta refiere a un sistema global y conocido, en otras palabras, un sistema regional, nacional o internacional. Veamos a continuación algunas de las características de los datos geográficos:

- **Posición Absoluta:** Refiere a la localización del elemento a representar (independientemente de su forma) sobre un sistema de coordenadas rectangular absoluto (x, y, z) . Muchas veces la posición absoluta incluye la dimensión temporal t ; de esta forma el elemento queda definido a partir de sus cuatro coordenadas (x, y, z, t) .
- **Posición Relativa:** Refiere a la posición del elemento a representar frente a otros elementos del entorno (topología, inclusión, adyacencia, cruce).
- **Representación Geométrica:** Corresponde al tipo de representación que tiene el elemento: punto, línea, polígono, etc.
- **Atributos que lo describen:** Características propias del elemento con los cuales se detalla información adicional.

2.3.2. Modelos de Datos Geográficos

La realidad geográfica debe de poder recogerse en un formato que pueda ser entendido por el ordenador y así susceptible de emplearse dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Es por esto que resulta pertinente tener en cuenta los enfoques conceptuales y prácticos más frecuentes para llevar a cabo dicha tarea. Se verá a continuación 3 tipos de modelos de datos geográficos: raster, vectorial y triangular [11].

Raster

Los datos raster están conformados por una matriz bidimensional compuesta por píxeles, en donde cada píxel posee un valor numérico que se representa visualmente con un color como se observa en la Figura 7.

A su vez, es un método para el almacenamiento, el procesado y la visualización de datos geográficos, en donde cada superficie a representar se divide en filas y columnas, formando una matriz. Cada celda de dicha matriz guarda tanto las coordenadas de la localización como el valor temático. La localización de cada celda es implícita, dependiendo directamente del orden que ocupa en la matriz, a diferencia de la estructura vectorial en la que se almacena de forma explícita la topología.

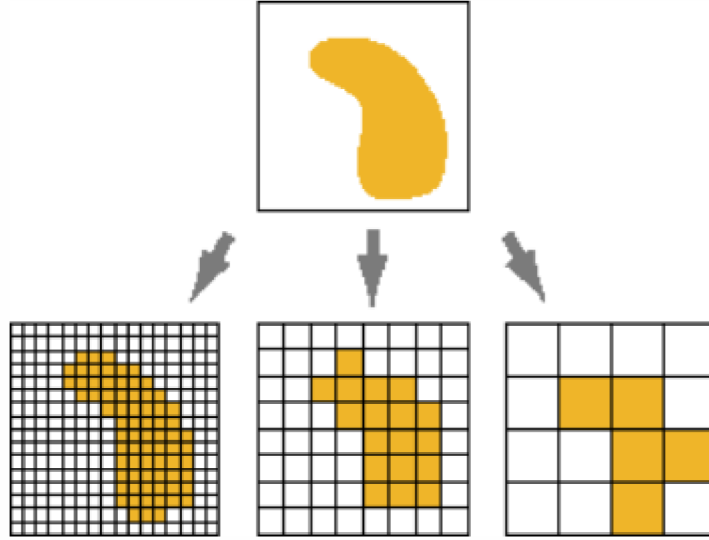


Figura 7. Entidad poligonal simple representada mediante un raster en varios tamaños de celda [12].

Los datos raster pueden ser obtenidos de diversas maneras: dos de las formas más comunes son la fotografía aérea e imagen de satélite [13][14]. En la fotografía aérea, un avión vuela sobre el área con una cámara montada debajo. Las fotografías son importadas a una computadora, para luego ser georeferenciadas haciendo uso de diferentes aplicaciones. La imagen satelital se crea cuando los satélites que orbitan la tierra, haciendo uso de cámaras digitales especiales dirigidas a la tierra, toman una imagen del área por donde están pasando. Una vez que la imagen ha sido tomada se envía a la tierra utilizando señales de radio a las estaciones receptoras especiales. El proceso de captura de datos de un avión o un satélite se llama teledetección.

Algunos de los usos más comunes para la representación geográfica utilizando raster son los siguientes :

- **Mapa de superficie:** representa a los parámetros que varían continuamente sobre un determinado terreno, como por ejemplo, elevación, humedad, lluvias, densidad de población, entre otros.
- **DEM (Digital Elevation Model):** este tipo de raster es sumamente utilizado cuando el valor indica la altura del punto, y con esto se pueden obtener

las curvas de nivel.

- **Mapa temático:** en los mapas temáticos se clasifican los píxeles en diferentes clases o categorías. En este caso, su utilidad puede ser la de clasificar diferentes actividades económicas sobre la tierra, como agricultura, ganadería, forestación, etc.
- **Raster como atributo:** en este caso se utilizan fotografías de una determinada característica, como puede ser un edificio o una playa como el atributo, para mostrarse en conjunto con los atributos alfanuméricos.

Vectorial

En este modelo de datos se utilizan puntos, líneas y polígonos para la representación geométrica de las características geográficas de manera precisa y compacta. Mientras que en el modelo raster el elemento principal es la celda, en este modelo los principales elementos son las líneas y puntos. Es muy conveniente utilizar este modelo de representación si los objetos geográficos contienen límites establecidos, como por ejemplo carreteras, líneas eléctricas ó padrones (Figura 8).

Entre los diferentes tipos de datos vectoriales, se encuentran los siguientes:

- **Punto:** está conformado por las coordenadas (x,y) , en donde la geometría de un objeto espacial consiste en un solo vértice.
- **Línea o Polilínea:** consiste en una secuencia de segmentos los cuales se encuentran conectados y los mismos no se cruzan, es decir, determinan caminos. Cada segmento se va a definir por dos puntos de coordenadas (x,y) , y los puntos consecutivos pueden definir un segmento de recta o una curva.
- **Polígono:** en este caso lo que se tiene es un conjunto de anillos, en donde cada anillo es una serie cerrada de puntos de coordenadas (x,y) las cuales determinan un área, permitiendo de esta manera representar áreas con huecos o islas.

Triangular

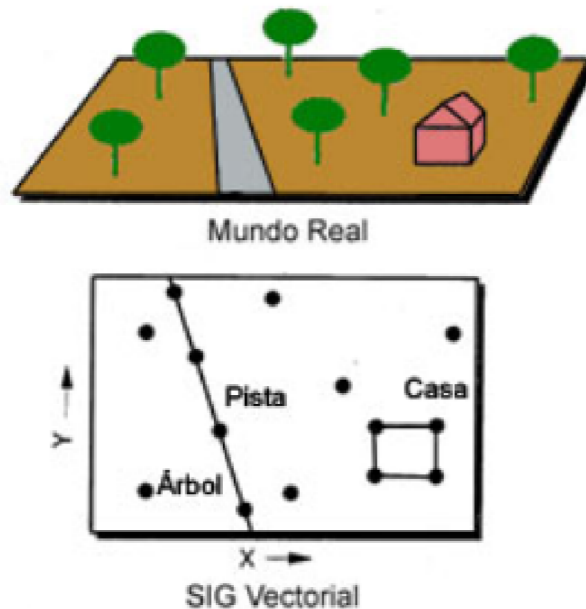


Figura 8. Pasaje de una imagen del mundo real a un dato vectorial. [15]

El tercer tipo de modelo de dato geográfico a analizar, es el TIN (Triangular Irregular Network). Este modelo se utiliza para representar de manera eficiente y precisa, superficies continuas las cuales están construidas en base a nodos que se encuentran distribuidos en forma irregular, con sus respectivas coordenadas (x,y,z), y líneas que las conectan, formando así una red de triángulos [14].

Entre los usos más comunes, se encuentran el análisis de elevación, pendiente, volúmenes, visibilidad desde un punto, entre otros. Suelen construirse a partir de un DEM (Digital Elevation Model), eligiendo puntos de interés en forma algorítmica, permitiendo la visualización en 3 dimensiones (Figura 9).

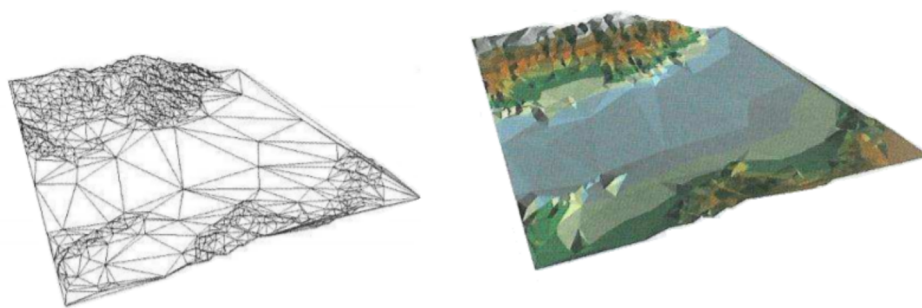


Figura 9. Representación de una superficie a partir de un conjunto de puntos como una red de triángulos irregulares [16].

En la Figura 10 se detalla un cuadro comparativo de los tres modelos vistos, donde se detallan las principales características de cada uno, así como sus ventajas y sus puntos débiles [14].

	VECTORIAL	RASTER	TIN
Foco del modelo	• Esta centrado en modelar discretamente con entidades agrupadas en shapes, o capas.	• Centrado en modelar fenómenos continuos y sobre las imágenes de la tierra.	• Dedicado a representar eficientemente una superficie que puede representar elevación u otra característica, como concentración.
Fuentes del dato	• Foto aérea • Gps • Digitalización • Vectorizado de raster • Relevamiento topográficos • Importados de cad	• Foto aérea digital • Imagen satelital • Convertido de tin • Vector rasterizado • Escaneado	• Compilado de fotos aéreas • A partir de datos GPS • Importado de puntos con elevación • Convertido de contornos vectoriales
Almacenamiento espacial	• Los puntos se guardan con coordenada (x,y) • Líneas como puntos conectados • Polígonos como caminos cerrados	• La matriz tiene un sistema de coordenadas coordenadas a la izq arriba donde se indica fila,columna	• Cada nodo tiene coord. x,y con un valor z asociado
Asociaciones topológicas	• Las líneas se conectan por nodos • Los polígonos se conectan por líneas y distinguen que polígono esta a la izquierda y cual a la derecha	• Los pixeles se conectan por su localización (fila, columna)	• Cada triangulo esta asociado a su triangulo vecino
Representación de elementos	• Puntos - elementos pequeños • Líneas - elementos con una longitud representable • Polígonos - elementos con una superficie representable	• Un punto estara representado por un pixel • Línea – serie de pixeles • Polígono – conjunto de pixeles	• Z representa la forma de la superficie
Análisis geográfico	• Superposición de mapas • Análisis de proximidad o buffer • Operaciones espaciales y consultas lógicas • Análisis de redes	• Coincidencia espacial • Análisis de proximidad • Análisis de superficie	• Elevación • Pendientes • Cálculo de volúmenes • Perfiles verticales • Cuencas visuales
Salida cartografica	• Este modelo es el mejor para representar con precisión los elementos a representar • No es bueno para representar fenómenos continuos	• Es el mejor para representar imágenes y fenómenos continuos • No es bueno para líneas y puntos	• Es bueno para representaciones atractivas de la superficie

Figura 10. Cuadro comparativo de los modelos de datos geográficos

2.3.3. Sistema de información geográfico (SIG)

El término SIG (Sistema de Información Geográfico), se utiliza en sistemas informáticos, integrados tanto por tecnologías de software como de hardware, que manejan datos espaciales. Este tipo de sistema, es considerado hoy en día una herramienta fundamental para la gestión de estos datos, permitiendo a los usuarios analizarlos y representarlos de diferentes maneras.

Como definición básica, se puede decir que un SIG es una herramienta para trabajar con información georreferenciada, es decir, información que contiene una posición geográfica, representada mediante coordenadas espaciales o geográficas. Se puede considerar que un SIG esta compuesto por 3 grandes subsistemas [17]:

1. *Subsistema de datos:* Corresponde a la administración de los datos fuente, es decir, el ingreso y/o eliminación de estos. Además, este subsistema es quien brinda al resto el acceso a los datos para que cumplan sus funciones.
2. *Subsistema de visualización y creación cartográfica:* Crea representaciones a partir de los datos (generando mapas, leyendas, etc) que permiten interactuar con ellos. También, entre otras funciones, incluye la posibilidad de edición de datos.
3. *Subsistema de análisis:* Permite realizar el análisis de estos datos geográficos, a partir de métodos o procesos.

A partir de esto, se puede considerar que los principales objetivos de un SIG son:

- La gestión de datos espaciales, permitiendo capturar, persistir, manipular y acceder a ellos.
- Poder realizar análisis de los datos espaciales, los cuales pueden ser simples o complejos.
- Creación de resultados de interés a partir de los datos, ya sea mapas, gráficas, etc.

Para que los usuarios puedan consumir los datos gestionados por este tipo de sistemas de información, existen los visualizadores de datos geográficos (Figura 11). Dichos visualizadores permiten navegar a través de una serie de mapas, pudiendo filtrar cierta información para poder poner atención en aquella información la cual resulta relevante para el usuario.

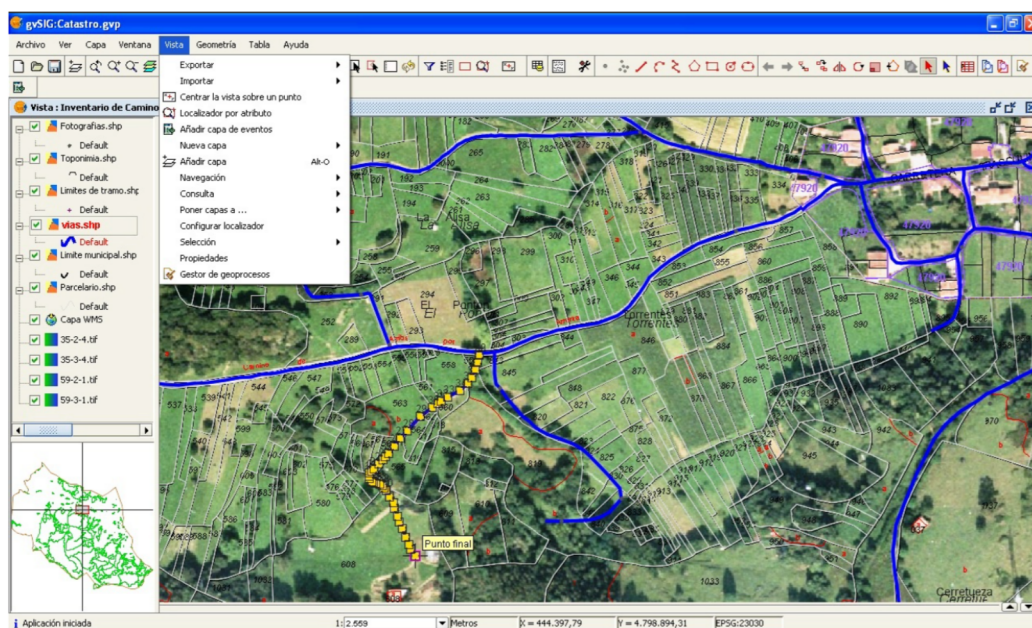


Figura 11. Ejemplo de un sistema GIS (gvSIG 1.0) [18].

2.3.4. Open Geospatial Consortium (OGC)

El Open Geospatial Consortium (OGC) [19] es un consorcio internacional creado en 1994 que agrupa a empresas, universidades y organismos estatales (aproximadamente 400) con las siguientes metas fundamentales:

- Proveer estándares abiertos, gratuitos y públicos.
- Liderar la creación de estándares que permitan que el contenido y los servicios geo-espaciales se integren a procesos cívicos y de negocios, la Web Espacial y los Sistemas Empresariales.
- Facilitar la adopción de arquitecturas de referencia abierta en materia de información espacial.
- Lograr acuerdos entre las diferentes empresas del sector que posibiliten la interoperación de sus sistemas de geoprocetamiento y facilitar el intercambio de información geográfica en beneficio de los usuarios.

OGC define un modelo de datos para objetos espaciales conocido como *Simple Features Access* (ISO 19125:2004)[20], en donde dicho estándar se divide en 2 partes:

- Arquitectura común (Modelo de Objetos).
- Implementación en SQL (Permite construir bases de datos geográficas).

Los estándares y acuerdos constituyen un substrato imprescindible que hace posible la coherencia, compatibilidad e interoperabilidad necesarias para que los datos, servicios y recursos de una IDE puedan ser utilizados, combinados y compartidos.

Las especificaciones más importantes surgidas del OGC son:

- Geography Markup Language (GML) 3.0.
- Grid Coverages (GC) 1.0.
- Web Coverage Service (WCS) 1.0.
- Web Feature Service (WFS) 1.0.
- Web Map Context Documents (WMC) 1.0.
- Styled Layer Descriptor (SLD).
- Web Map Service (WMS) 1.3.

El estándar Web Map Service (WMS)[21] produce mapas de datos espaciales referidos de forma dinámica a partir de información geográfica. Este estándar internacional define un mapa como una representación de la información geográfica, en forma de un archivo de imagen digital conveniente para la exhibición en una pantalla de ordenador.

Un mapa no consiste en los propios datos: los mapas producidos por WMS se generan normalmente en un formato de imagen como PNG, GIF o JPEG, y ocasionalmente como gráficos vectoriales en formato SVG (Scalable Vector Graphics) o WebCGM (Web Computer Graphics Metafile).

El estándar define tres operaciones:

- Devolver metadatos del nivel de servicio.

- Devolver un mapa cuyos parámetros geográficos y dimensionales han sido bien definidos.
- Devolver información de características particulares mostradas en el mapa (opcionales).

Las operaciones WMS pueden ser invocadas usando un navegador estándar realizando peticiones en la forma de URLs (Uniform Resource Locators). El contenido de tales URLs depende de la operación solicitada, es decir, al solicitar un mapa, la URL indica qué información debe ser mostrada en el mapa, qué porción de la tierra debe dibujar, el sistema de coordenadas de referencia, y las dimensiones de la imagen de salida.

Cuando dos o más mapas se producen con los mismos parámetros geográficos y tamaño de salida, los resultados se pueden solapar para producir un mapa compuesto. El uso de formatos de imagen que soportan fondos transparentes (por ejemplo, GIF o PNG) permite que los mapas subyacentes sean visibles. Además, se puede solicitar mapas individuales de diversos servidores.

El servicio WMS permite así la creación de una red de servidores distribuidos de mapas, a partir de los cuales los clientes pueden construir mapas a medida. Las operaciones WMS también pueden ser invocadas usando clientes avanzados SIG, realizando igualmente peticiones en la forma de URLs. Existe software libre, como las aplicaciones GAIA, uDIG, gvSIG, Kosmo y otros, que permite este acceso avanzado a la información remota, añadiendo la ventaja de poder cruzarla con información local y disponer de una gran variedad de herramientas SIG [22].

2.4. Trabajos relacionados

Dentro de lo que comprende al marco teórico, resulta interesante analizar algunos estudios relacionados con las diferentes soluciones GIS que existen en el área de energía en otros países, como también estudiar artículos que den una mejor comprensión acerca del estado del arte de la energía, tanto en nuestro país como en otros países.

2.4.1. Soluciones GIS en el sector energético en otros países

a) SIG y Visor Web de energía solar y eólica. Aplicación práctica en el País Vasco [23]

En esta tesis se hace un estudio acerca de un proyecto que comprende a un Sistema de Información Geográfica y Visor web (Figura 12), el cual se centra en las energías renovables solar y eólica. Dicho sistema contiene funcionalidad con la finalidad de facilitar el acceso de los ciudadanos y de las empresas del sector a la información de estas dos energías.

El sistema en cuestión realiza la incorporación de una herramienta de edición, la cual cuenta con una base de datos actualizada acerca de los diferentes parques solares y eólicos ubicados en España. También contiene otra herramienta que se centra en el entorno urbano, permitiendo saber la electricidad aproximada que se generaría en el techo de un edificio en función del panel solar que se instale en dicho techo.

A su vez, se llevó a cabo un análisis para encontrar los lugares óptimos para llevar a cabo la instalación de paneles solares y eólicos en el País Vasco, dando lugar también a la publicación de las capas resultantes en el visor para que las mismas puedan ser accedidas por cualquier persona o empresa, a la que le interese conocer dicho tipo de información.



Figura 12. SIG y visor web de energía solar y eólica en el País Vasco. [23]

b) Visualizador geográfico Argentino [24]

La República Argentina por medio de la Secretaría de Energía, cuenta con un sistema GIS el cual presenta muchas funcionalidades interesantes en lo que respecta a la visualización de información geográfica. La interfaz se presenta sencilla y

lo suficientemente intuitiva para el fácil uso del mismo. Dicho visualizador está dividido en 3 secciones: Bases, Energía e Información socio económica (Figura 13). En la primer sección, se pueden encontrar diferentes categorías para realizar un filtrado de la información, entre dichas categorías se encuentran Áreas protegidas, Climatología, Imágenes satelitales, Geologías, etc. En la segunda sección, correspondiente a Energía, se encuentran 3 capas que son Eléctrica, Renovables e Hidrocarburos. Por último, la tercer sección, comprende los filtros acerca de Educación, Áreas Pobladas de Argentina, Índice de Pobreza Multidimensional, Censos, etc.

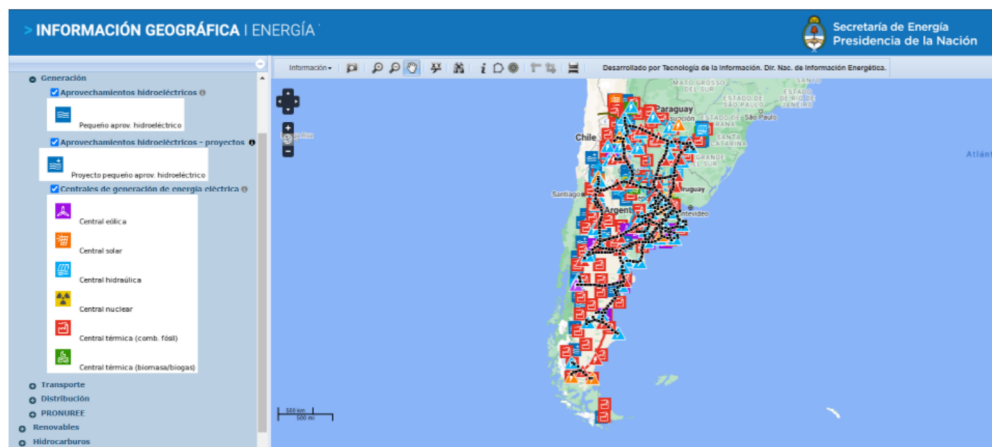


Figura 13. Visualizador geográfico Argentino. [24]

c) Portal Energía España [25]

España cuenta con un Geo Portal para la visualización de la información energética del país. Dicho visualizador (Figura 14) se presenta mediante una interfaz sumamente completa y con un diseño muy atractivo. Entre sus funcionalidades se pueden encontrar el filtrado por capas denominado árbol de servicios, el cual contiene las capas correspondientes a Cartografía General, Agricultura, Agua, Alimentación, Calidad y Evaluación Ambiental, entre muchos otros. Entre sus funcionalidades adicionales, cuenta con una sección para poder incluir nuevos servicios ya predefinidos, o cargar nuevos servicios mediante el ingreso manual del WMS correspondiente, es decir, el servicio web de mapas o Web Map Service.

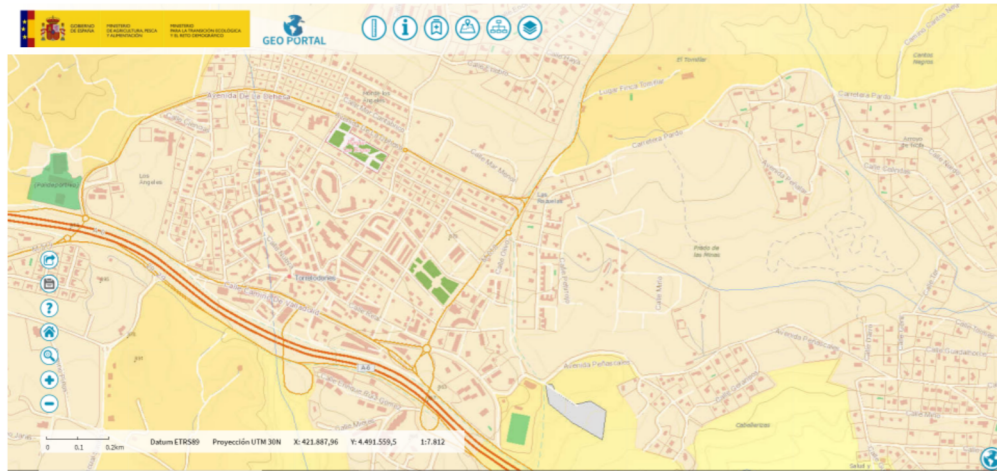


Figura 14. Geo Portal Español. [25]

2.4.2. Lecturas relacionadas con el sector energético

a) ONU - Agenda para el Desarrollo Sostenible [1]

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años.

Dentro de los 17 objetivos aceptados por los Países, se encuentra la sección número 7, correspondiente a Energía Asequible y No contaminante. Dichos objetivos son:

- 7.1 De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.
- 7.2 De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.
- 7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.
- 7.4 De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y las tecnologías relativas a la energía limpia, inclui-

das las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.

- 7.5 De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.

b) ONU - Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2019 [26]

La proporción de la energía renovable en el consumo total de energía alcanzó el 17,5 % en 2016, en comparación con el 16,6 % en 2010. En términos absolutos, el consumo de energía renovable aumentó un 18 % durante ese período.

La proporción de energía renovable moderna aumentó a un ritmo más rápido, del 8,6 % en 2010 al 10,2 % en 2016. Esta categoría no incluye el uso tradicional de la biomasa, que refiere al uso ineficiente de la biomasa sólida, como la combustión de madera, carbón u otra materia orgánica.

El mayor crecimiento de energía renovable se concentra en el sector de la energía eléctrica. Esto se debe principalmente a la rápida expansión de la energía eólica y solar, impulsada por el apoyo sostenido de políticas y la reducción de costos. Sin embargo, la energía eléctrica solo representa el 20 % del consumo final de energía. El 80 % restante se concentra en los sectores de calefacción y transporte, en los que las fuentes renovables modernas en el año 2016 representaron solo el 9 % y 3,3 % del mercado mundial, respectivamente.

Para cumplir con la ambiciosa meta de los ODS, la atención de las políticas deberá enfocarse más en el despliegue de las fuentes renovables modernas en ambos sectores esenciales.

c) Hacia una Estrategia Nacional de Desarrollo, Uruguay 2050 [27]

El abastecimiento energético está íntimamente ligado al desarrollo, ya que no

solo genera impactos en la economía y la industria, sino sobre la sociedad en su conjunto. Históricamente, el desarrollo energético de los países ha permitido mayores niveles de productividad y de calidad de vida de la población, traducidos en un incremento del bienestar social.

Por ello, Naciones Unidas ha definido al acceso universal a un nivel asequible, confiable y sostenible de energía, como uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ods) hacia 2030. Este objetivo se considera fundamental para el logro de los otros ods y constituye uno de los ejes fundamentales para hacer frente a los desafíos del cambio climático. En efecto, la composición de la matriz energética tiene un impacto determinante en el ambiente, así como en la capacidad de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, compromiso asumido por la comunidad internacional en el marco del Acuerdo de París sobre cambio climático.

El incremento poblacional a nivel mundial, el crecimiento de las economías en desarrollo y los procesos globales de urbanización han generado un aumento de la demanda energética, tanto para electricidad como para transporte, que se prevé aumente en un 30 % para 2040, según el World Energy Outlook de 2017 de la Agencia Internacional de Energía. Ello genera grandes desafíos para que el incremento no se traduzca en una mayor presión sobre el ambiente.

En este contexto, el acceso asequible a distintas fuentes de energía y en especial, el desarrollo de fuentes de energía renovables surgen como una respuesta a esos desafíos para garantizar la seguridad y eficiencia energéticas, y con ello, el desarrollo sostenible.

Uruguay, a partir de la Política Energética 2005–2030 primero aprobada por decreto del Poder Ejecutivo en 2008 y luego acordada de forma interpartidaria, ha sido pionero en las acciones tendientes a incorporar fuentes de energía renovables. Mediante sus resultados, ha logrado disminuir la dependencia internacional, la incertidumbre a nivel de precios y los efectos generados en el ambiente. Gracias a dicha política, la matriz energética primaria del Uruguay en 2017 estuvo compuesta por 63 % de fuentes renovables. Tomando en cuenta solamente la generación de electricidad, el 95 % de los insumos para dicha generación fue de origen renovable. De esta manera, el país se ha alineado con respecto a las tendencias internacionales en la implementación de una matriz energética con preponderancia de las energías

más amigables con el medio ambiente y con mayor beneficio social.

En esta publicación se presentan los resultados del estudio prospectivo Energías Renovables en Uruguay al 2050 llevado adelante por la Dirección de Planificación en coordinación con la Dirección Nacional de Energía (DNE) del Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) y la empresa estatal Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE). Estas tres instituciones conformaron la gobernanza del proceso prospectivo que se inició en mayo de 2017 con el diagnóstico de la situación de partida y finalizó en setiembre de 2018, con la validación del mapa estratégico por parte de las instituciones.

d) El sector de las Energías Renovables en Uruguay. Estudio Embajada de España. [28]

Uruguay vive actualmente una creciente demanda energética, pero a diferencia de lo que ocurre en otros países desarrollados, ésta no se basa en un aumento de la presión demográfica, sino más bien de un aumento de la tasa de urbanización, del optimismo del consumo y del desarrollo económico.

Por tanto, actualmente el mercado uruguayo presenta un alto potencial para el desarrollo del sector, principalmente fomentado por las políticas y normativas establecidas por el gobierno uruguayo para estimular la producción de energía proveniente de fuentes renovables.

Con una tasa de crecimiento de la demanda de 3,5 % anual, para el 2030 se estima tener una demanda energética anual de 18.700 GWh, con una potencia mínima de 1.510 MW y una máxima de 3.450 MW. Considerando que la oferta renovable para un año hidrológico media será de 7.000 GWh de hidroeléctricos, 2.370 GWh de biomasa, y 9.330 GW por tanto de energía eólica que correspondería al 50 % de la demanda. Esto se consigue con unos 2.650 MW de eólica, y en esta situación sería necesario recurrir a almacenamiento de energía de al menos 750 MW, ya que si existe una buena distribución espacial, nunca tendrían más del 85 % de la potencia instalada (2.250 MW).

En el plan de Política Energética 2005-2030 se establecen 4 directrices estratégicas

fundamentales:

1. Rol directriz del Estado, con participación regulada de actores privados.
2. Diversificación de la matriz energética (fuentes y proveedores).
3. Promover la eficiencia energética en todos los sectores de actividad.
4. Velar por un acceso adecuado a la energía para todos los sectores sociales.

e) Políticas energéticas 2005-2030 en Uruguay - MIEM

El objetivo central de la Política Energética es la satisfacción de todas las necesidades energéticas nacionales, a costos que resulten adecuados para todos los sectores sociales y que aporten competitividad al país, promoviendo hábitos saludables de consumo energético, procurando la independencia energética del país en un marco de integración regional, mediante políticas sustentables tanto desde el punto de vista económico como medioambiental, utilizando la política energética como un instrumento para desarrollar capacidades productivas y promover la integración social. [2]

La Dirección Nacional de Energía (DNE, perteneciente al MIEM) planifica, diseña, evalúa y dirige la política energética. Establece la normativa y es la encargada de coordinar los diferentes actores públicos o privados. Esta planificación debe tener fundamentos científicos, motivos por el cual debe basarse en modelos matemáticos de planificación energética, nutridos con información veraz. Estos modelos deberán ensayarse periódicamente simulando distintos escenarios de oferta y demanda.

En lo que respecta al eje de la oferta de energía, el objetivo es diversificar la matriz energética, tanto de fuentes como de proveedores. Procurar reducir costos, disminuir la dependencia del petróleo y buscar fomentar la participación de fuentes energéticas autóctonas.

Por otro lado, también existen una serie de objetivos particulares y de diversa índole. Esos son:

1. Realizar regularmente ampliaciones de infraestructura y logística para robustecer el sistema energético; procurando sinergias entre empresas públicas y privadas vinculadas a la actividad.

2. Procurar mecanismos de integración energética (física o contratos) con los países de la región. Encontrar acuerdos para la compra conjunta de energéticos extra regionales.
3. Como el país cuenta con fuentes de energía renovables abundantes y que permiten generar energía a costos de mercado, se debe impulsar la introducción de aquellas formas de energía que no necesitan subsidios. Las fuentes posibles son la eólica de medio y gran porte, la biomasa, la solar térmica, el uso de ciertos residuos, la micro hidráulica, ciertos biocombustibles. También podrán realizarse ensayos, a través de experiencias piloto acotadas, de otras formas de aprovechamiento energético renovable
4. Subsector eléctrico:
 - El país debe contar con un cronograma de incorporación de generación eléctrica con horizontes de corto, mediano y largo plazo. Cada cronograma debe tener una meta clara y la modalidad de cada inversión.
 - Contar con un cronograma para la ampliación de redes de transmisión y distribución de electricidad, acordándose las fuentes y las modalidades de financiación de las inversiones.
5. Subsector combustibles líquidos:
 - Procurar la integración vertical de ANCAP, mediante la búsqueda de petróleo y gas en territorio nacional. Evaluar la posibilidad de exploración conjunta de petróleo en otros países.
 - Ampliar y modernizar la capacidad de refinación de La Teja, introduciendo la tecnología de “conversión profunda”, una planta de cogeneración y procurando especial atención a los impactos medioambientales, tanto del proceso de refinación como de los propios combustibles líquidos.
 - Impulsar el desarrollo nacional de biocombustibles, a través de emprendimientos que procuren generar una diversidad de coproductos (energía eléctrica, alimento animal, biofertilizantes, azúcar para consumo humano, etc.). Se debe mitigar la competencia, en el uso del suelo y del agua, con la producción de alimentos.

6. Buscar los caminos para intensificar la participación del gas natural en la matriz uruguaya de manera robusta y a un precio competitivo.
7. Explorar el territorio nacional en búsqueda de energéticos no renovables. Impulsar emprendimientos piloto de utilización de dichos energéticos.
8. Impulsar y promover la generación energética en el hogar, mediante el calentamiento de agua por energía solar, generación microeólica, uso de biomasa, leña, etc.
9. Mantener el conocimiento actualizado a nivel tecnológico, para que el país se encuentre preparado para incorporar nuevas formas de energía (biocombustibles de segunda y tercera generación, hidrógeno, energía undimotriz, energía geotérmica, energía solar fotovoltaica y de concentración, etc.).

3. Análisis y Diseño

En el presente capítulo, se describe el análisis de las necesidades del Ministerio, y al final, el diseño de la solución planteada. En primera instancia se detallan los distintos tipos de usuarios y luego cada uno de los requerimientos del sistema. Se elige un formato de historias de usuario, con el objetivo de comprender de forma clara cómo cada uno de los requerimientos sustenta una necesidad puntual. Para los requerimientos, se incluye una breve descripción.

3.1. Usuarios

Se identificó la necesidad de tener tres tipos de usuarios que deben interactuar con la solución:

1. *Público*: Este usuario deberá acceder a una aplicación web pública, pudiendo visualizar las distintas capas que el Ministerio considere hacer públicas. Al seleccionar una capa del listado disponible, ésta debe desplegarse sobre un mapa. Si los objetos de la capa tienen información extra, la misma debe poder ser consultada por el usuario.
2. *Experto*: El usuario experto corresponderá a una persona del Ministerio con conocimientos en el área. Este tipo de usuario, tiene la necesidad de analizar la distinta información energética que contenga la base de datos geográfica y estadística. Para ello debe contar con una herramienta desde la cual pueda consultar, mantener y realizar distintas operaciones geográficas sobre las capas. Adicionalmente, debe ser capaz de mantener las capas públicas, realizar modificaciones en los atributos o la simbología de la misma. También podrá realizar las acciones del usuario Público.
3. *Administrador*: Este tipo de usuario deberá tener los permisos necesarios para realizar todo tipo de acciones sobre la solución. Esto incluye las acciones detalladas tanto en el usuario Público como en el usuario Experto, agregando la posibilidad de administrar la base de datos y los servidores geográficos.

Para la definición de usuarios, se tiene en cuenta que dentro del departamento de Planificación Estadística y Balance se cuenta con personal capacitado y con

experiencia previa en las herramientas GeoServer [29], QGIS [30] y manejo de base de datos.

3.2. Requerimientos

Los requerimientos funcionales pueden agruparse en tres categorías, cada una de ellas relacionada con el usuario al cual están dirigidos: Visualizador, Mantenimiento Capas, Geo-Servicios.

A su vez, implícito en la funcionalidad solicitada; es necesario realizar un trabajo importante respecto a las fuentes de información. Por lo tanto el mayor requerimiento no funcional consiste en elaborar un modelo conceptual normalizado para almacenar la información y realizar un trabajo de migración de datos.

A continuación se describe cada necesidad funcional de acuerdo a las necesidades de cada tipo de usuario.

3.2.1. Visualizador

El visualizador web tiene como objetivo hacer públicas las distintas capas de información que dispone el sistema. El usuario que se conecte al portal, debe poder realizar las siguientes tareas:

1. *Listar capas:* el visualizador debe contar con una sección, donde el usuario pueda ver todas las capas públicas disponibles. Debe poder identificar cada capa y a qué categoría corresponde.
2. *Visualizar capas:* el usuario debe poder seleccionar una o varias capas y visualizarlas en el mapa. Debe contar con la posibilidad de hacer zoom y moverse en distintas direcciones, permitiendo de esta forma consultar en detalle los objetos de las capas. Dependiendo del tipo de capa que se esté consultando, el visualizador la despliega de distintas formas. Aquí podemos distinguir dos tipos:
 - a) *Capa geométrica:* este tipo de capas se corresponden con una geometría (punto, línea, polígono) que representa una entidad dentro del sistema.

Al consultar la capa se deberán dibujar las distintas geometrías respetando la simbología especificada para cada una de ellas. Por ejemplo, al consultar las represas hidroeléctricas, se dibuja un punto en cada coordenada que corresponda con la simbología asociada a represas.

- b) *Capa estadística*: este tipo de capas relaciona datos estadísticos con una geometría existente. En este caso, en el mapa se pintará con distintas tonalidades dependiendo del dato asociado a la geometría o se mostrará un dato estadístico asociado a cada una de ellas. Un ejemplo, si la estadística corresponde al porcentaje de autos por departamento del país; cada departamento tendrá una tonalidad diferente de color asociado al valor de ese porcentaje. Normalmente cuanto mayor sea el valor del porcentaje, más oscuro será el color asociado. Una alternativa a este tipo de simbología, es utilizar "burbujas" de tamaño directamente proporcional al valor asociado a la geometría.
- 3. *Detalle de capas*: ciertos objetos pertenecientes a una capa cuentan con información adicional. Por ejemplo, los generadores de los parques eólicos cuentan con su potencia asociada. El usuario debe contar con la posibilidad de seleccionar un objeto y el visualizador mostrar la información asociada.
- 4. *Realizar mediciones*: se desea que el usuario cuente con la posibilidad de utilizar una regla para realizar mediciones de distancias y áreas en el mapa.

3.2.2. Mantenimiento de Capas

El mantenimiento, consulta y cruzamientos sobre las distintas capas del sistema se debe permitir realizar desde la herramienta QGIS [30] y desde el GeoServer [29]. Esta herramienta estará disponible para el usuario experto, quien debe poder realizar las siguientes tareas:

- 1. *Consultar capa*: el usuario debe poder consultar en su proyecto de QGIS las distintas capas disponibles en el sistema. Debe contar con la posibilidad de visualizarlas, navegar sobre las diferentes capas y consultar el detalle de su información.
- 2. *Crear y modificar capa*: utilizando la herramienta, el usuario puede definir una nueva capa o importarla desde un archivo externo en caso de ser ne-

cesario. También debe poder modificar cualquier dato asociado a una capa que sea propiedad del Ministerio: datos de la geometría y cualquier atributo asociado a ésta.

3. *Modificar simbología:* por medio del QGIS, el usuario puede modificar la simbología asociada a una capa, contando con la posibilidad de exportarla desde la herramienta y aplicarla en la publicación en el GeoServer. Para publicar la simbología en el GeoServer el usuario experto dispondrá de credenciales que le permitan llevar adelante esta tarea.
4. *Consultas y cruzamientos:* desde la herramienta QGIS el usuario debe contar con la posibilidad de realizar consultas sobre las distintas capas. Debe poder consultar realizando cruzamientos geográficos, por medio de campos analíticos o combinar ambos criterios sobre una o más capas. Los datos obtenidos de las consultas pueden ser visualizados en diferentes formas: listados con cierta información que el usuario desee visualizar o desplegar las geometrías en el mapa de la herramienta para poder observar los resultados de su consulta.

3.2.3. Geo-Servicios

El usuario administrador es el encargado de llevar adelante el mantenimiento de los servicios publicados en el GeoServer. Debe ser capaz de realizar las siguientes tareas:

1. *Mantenimiento GeoServer:* el usuario es responsable de mantener el servidor GeoServer. Debe poder crear nuevos usuarios, administrar los roles existentes en el servidor, así como modificar cualquier configuración sobre los servicios publicados.
2. *Mantenimiento publicación capas:* el usuario puede agregar, quitar o modificar las publicaciones de las distintas capas disponibles en la base de datos.
3. *Mantenimiento base de datos:* el administrador debe poder mantener la base de datos sobre la cual se almacenan las capas (usuarios, permisos, optimizaciones).

3.2.4. Datos

Los usuarios de la solución deberán poder acceder a los datos que maneja actualmente el departamento de Planificación Estadística y Balance. Por este motivo, es necesario crear un nuevo modelo conceptual para el conjunto de datos actuales, transformarlos y migrarlos hacia la nueva solución. Adicionalmente, deben disponer de procedimientos y guías que le permitan al departamento de Planificación Estadística y Balance realizar el mantenimiento de los datos de forma autónoma, brindándoles así, herramientas para la inserción de nuevos datos.

En el Capítulo 4 se aborda cada uno de estos puntos en forma detallada.

3.3. Casos de uso críticos

En base a los distintos requerimientos detallados anteriormente, junto con el cliente se definen algunos casos de uso críticos para su operativa. En la Figura 15 se pueden observar estos casos junto a los actores asociados.

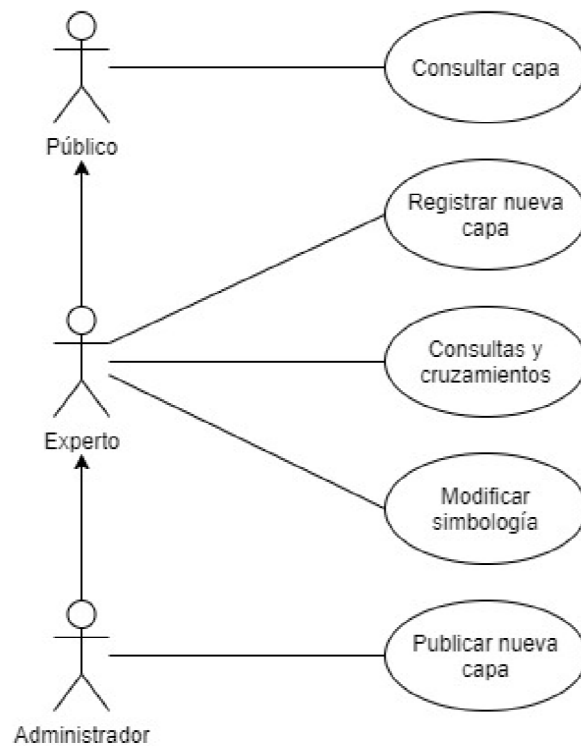


Figura 15. Casos de uso críticos.

3.4. Diseño visualizador web

El diseño del visualizador web se realizó en conjunto con el cliente.

En una primera instancia y de forma independiente, el equipo de proyecto y el cliente se encargaron de buscar distintas soluciones existentes, analizando cada una de ellas y buscando las características que fueran necesarias incorporar al prototipo a implementar.

Algunas de las soluciones estudiadas fueron las siguientes:

- Visor Web de energía solar y eólica del País Vasco [23], el cual se centra en el uso de energías renovables solar y eólica. Dicho sistema contiene diferentes funcionalidades que facilitan el acceso de los ciudadanos y de las empresas del sector a la información de estas dos energías.
- Visualizador geográfico Argentino [24], el cual presenta una interfaz simple y lo suficientemente intuitiva para el fácil manejo de los datos. Dicho visualizador esta dividido en 3 secciones: Bases, Energía e Información socio económica.
- Portal Energía España [25]. Este sistema también fue apodado como Geo-Portal, y se presenta mediante una interfaz sumamente completa y con un diseño de lo más atractivo. Entre sus funcionalidades se pueden encontrar el filtrado por capas denominado árbol de servicios, el cual contiene las capas correspondientes a Cartografía General, Agricultura, Agua, Alimentación, Calidad y evaluación ambiental, entre muchas otras.
- Visualizador web de la Red Eléctrica de España [31]. Este visualizador tiene distintos tipos de mapas donde se muestran consumos estadísticos de energía.
- Otros visualizadores de información geográfica pertenecientes a distintos organismos estatales del Uruguay.

Luego del análisis, se realiza una puesta en común y se elabora un bosquejo del prototipo a implementar. Los principales componentes del visualizador (Figura 16) son:

1. *Cabezal*: Incluye el nombre y el logo. Opcionalmente puede incluir algunos botones si se desea luego agregar información adicional en la página.

2. *Menú de capas*: Sección colapsable. Se listan las capas disponibles a visualizar. El usuario podrá seleccionar una o varias capas (clickear) para mostrar en el mapa. Contará con una opción de buscador sobre las capas disponibles (deseable).
3. *Mapa*: Sección central del visualizador. Se desplegará el mapa base y cada una de las capas seleccionadas. Debe contar con las siguientes opciones:
 - a) Posibilidad de realizar zoom (scroll). Contar con “+” y “-” para hacer zoom de forma manual.
 - b) Seleccionar alguna de las geometrías desplegadas. Al seleccionar una geometría, debe quedar resaltada y mostrar la información en la sección 4.
 - c) Posibilidad de utilizar una regla (deseable).
4. *Información*: Sección colapsable. Al seleccionar una geometría en el mapa, en esta sección se desplegará la información asociada a la misma (incluyendo las fotos).
5. *Pie de página*: Información de propiedad, versión, contacto, etc.

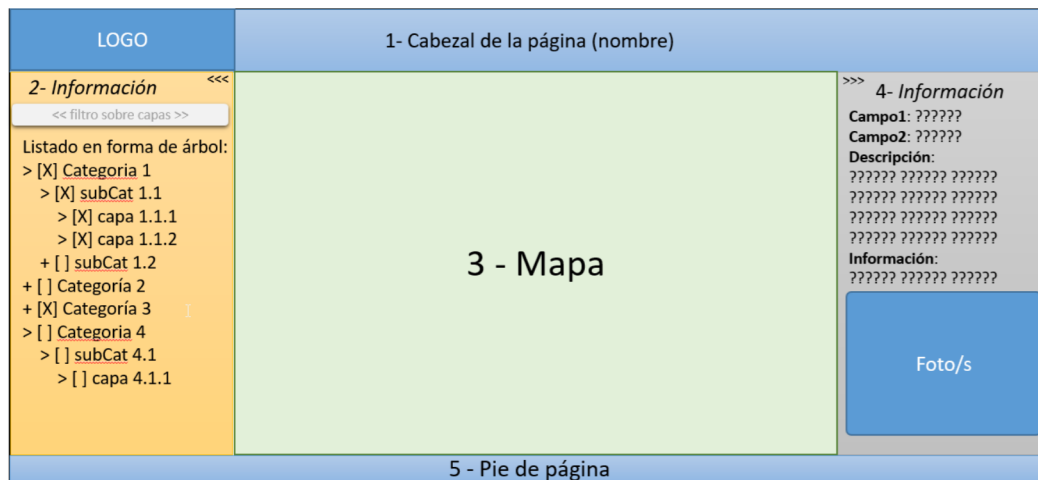


Figura 16. Bosquejo del Visualizador web a implementar para el prototipo.

4. Datos

La mayor complejidad y dificultad del proyecto se centra en entender los distintos tipos de datos que maneja el Ministerio. Una vez analizada toda la información, es necesario elaborar un modelo conceptual que sea capaz de sistematizar los datos para luego realizar la migración y establecer un procedimiento que permita al Ministerio realizar la carga de nueva información de forma autónoma.

4.1. Datos de negocio

El conjunto de datos utilizados por el área de Planificación Estadística y Balance tiene diversos orígenes y formatos.

Cierta información es generada por el propio Ministerio, la cual ha sido recopilada durante varios años de trabajo. Sin embargo, gran parte de su trabajo consiste en recopilar información de distintas fuentes, siendo ésta procesada y utilizada en los distintos modelos. Esta tarea es de suma importancia y requiere la colaboración de otras dependencias del estado quienes comparten datos y estadísticas sobre su operativa.

Entre las distintas fuentes de información se encuentra:

1. Mapa geográfico energético en formato KMZ (Figura 17). Este tipo de formato está compuesto principalmente por un archivo KML (Keyhole Markup Language) y archivos complementarios, empaquetados todos en formato .zip, y compatible con Google Earth o Google Maps para su visualización y modificación. Un archivo KML además, se encuentra implementado en un lenguaje basado en XML y es utilizado para representar datos geográficos en tres dimensiones. En este archivo fuente KMZ se tiene toda la información georeferenciada que utiliza el área para realizar los estudios y poder representarlos gráficamente. El mapa es resultado de muchos años de trabajo, donde se ha ido incorporando información generada por el propio Ministerio, datos obtenidos de otros organismos del estado y datos proporcionados por organismos externos.

Algunos datos y características que se destacan de esta fuente de información:

- a) Ordenamiento territorial: datos obtenidos del Instituto Nacional de Es-

tadística (INE), con información acerca de los departamentos y localidades del país.

- b) Transporte: información sobre las distintas terminales de transporte del país. Incluye puertos, aeropuertos, terminales de trenes, líneas férreas y carreteras. Para esta información se ha utilizado distintas fuentes, entre ellas el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), Administración Nacional de Puertos (ANP) y Administración de Ferrocarriles del Estado (AFE).
- c) Energía: información energética del país. Este grupo de datos es el de mayor importancia para el departamento de Planificación Estadística y Balance. Aquí se encuentra información sobre la energía eléctrica, petróleo y derivados, gas natural, biocombustibles, potencial renovable y estadísticas obtenidas de la encuesta continua de hogares.

Como parte de los datos sobre la energía eléctrica se encuentran los distintos tipos de generadores existentes: centrales de biomasa, parques eólicos, granjas fotovoltaicas, centrales hidroeléctricas, centrales biogas, centrales derivados del petróleo y centrales de gas natural. También se tiene información sobre la red e infraestructura eléctrica de transmisión y distribución; información proporcionada por Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE).

Bajo la categoría petróleo y derivados se puede encontrar información sobre estaciones de servicio, centros de transporte y distribución, plantas de despacho, envasado y depósitos de gas licuado. La mayor parte de esta información proviene de ANCAP, empresa pública uruguaya encargada de explotar y administrar el monopolio del alcohol y carburante nacional, el cemento portland, así como importar, refinar y vender derivados de petróleo.

En la categoría gas natural se encuentran los gasoductos de Uruguay y la región, junto con los datos sobre las estaciones y distribución del país.

Bajo los biocombustibles se dispone información de las plantas de biodiesel y bioetanol del país.

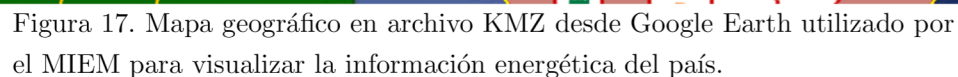
En potencial renovable, se disponen de resultados de estudios realizados

en conjunto con otros organismos. Se encuentra el mapa eólico y solar del país, estudio realizado con la colaboración de la Facultad de Ingeniería de la República; estudios de causas de agua con potencial para instalar generadores hidroeléctricos.

Por último en la categoría encuesta continua de hogares, se disponen de mapas estadísticos sobre los tipos de fuentes y equipos existentes en los hogares. Aquí se evalúa anualmente los medios utilizados para calefacción, iluminación, cocción y equipos de confort. En este último punto se registran también las estadísticas sobre el parque automotor.

- d)* Ambientales y Climáticos: esta categoría contiene las áreas protegidas del país, información sobre la hidrografía (cuencas, ríos, espejos de agua) e información sobre el clima (temperaturas máximas, mínimas, promedio, etc.).
 - e)* Productivos y Agropecuarios: información sobre la cobertura forestal, catastro minero y zonas agropecuarias, en donde se puede consultar las zonas para cada uno de los sectores productivos (lechero, agrícola, arroz, forestal y ganadero).
 - f)* Industriales: zonas francas del país y ubicación de distintas instalaciones. Aquí se tiene registro de instalaciones categorizadas por el sector de actividad (frigoríficos, lácteos, molinos, textil, madera, etc.).
2. Plantillas con información estadística proporcionada por el Instituto Nacional de Estadísticas. Esta información es utilizada para los informes sobre consumos, hacer proyecciones de acuerdo a la varianza y elaborar los raster estadísticos por departamentos que luego son incorporados al mapa.
 3. Información proporcionada por la empresa eléctrica del país (UTE). Alguna de la información proporcionada por el ente:
 - a)* Archivos de mapas vectoriales (shapefiles) con las líneas de distribución.
 - b)* Plantillas con información sobre tarifas y consumos proporcionadas.
 - c)* Plantillas con información sobre distintos tipos de instalaciones eléctricas (públicas y particulares).

Dependiendo del análisis o estudio que desean llevar adelante, deben consultar las distintas fuentes, normalizar la información y realizar los cruzamientos que consideren oportunos. Algunos cruzamientos de información resultan complejos, por ejemplo, hacer cruzamientos geográficos contra datos estadísticos.



4.2. Modelo conceptual

De las distintas fuentes, la que requiere mayor esfuerzo y dedicación corresponde al archivo KMZ que contiene el mapa geográfico energético. Las distintas capas de información incorporadas al mapa, tienen algunas características que no son compatibles con la utilización de los estándares de OGC que son parte de la nueva solución.

Algunas de estas particularidades son:

- Existencia de una misma capa de información, dentro de más de una categoría. Un ejemplo, existen granjas fotovoltaicas bajo la categoría Generadores Servicios Públicos y Generadores No Volcados a la Red.
- Una misma capa de información está compuesta por más de un tipo de geometría. Un claro ejemplo de esto corresponde a los parques eólicos, los cuales están compuestos por una ubicación (punto), los distintos generadores (puntos), sus líneas de conexión (línea) y los límites (polígonos).
- La gran mayoría de capas estadísticas están representadas por una imagen estática (raster) y no cuentan con detalles adicionales para dar información al usuario sobre cada componente.
- Existe una misma entidad en varias capas, siendo únicamente algún atributo de información diferente entre una y otra.

Esta variedad de información representada en el mapa actual, hizo que fuera necesario dedicar un tiempo importante de elaborar un modelo conceptual de las distintas capas a representar. El equipo lleva adelante este diseño, analizando cada una de las capas existentes, normalizando las entidades y redefiniendo las categorías. Una vez definido el modelo, se lo presenta al cliente quien aprueba el nuevo modelo, y pasa a ser parte de la solución a implementar.

En la Figura 18 se puede observar el modelo propuesto para la categoría Energía. En el mismo se presentan las distintas sub-categorías (agrupadores) y las entidades que serán representadas (cajas).

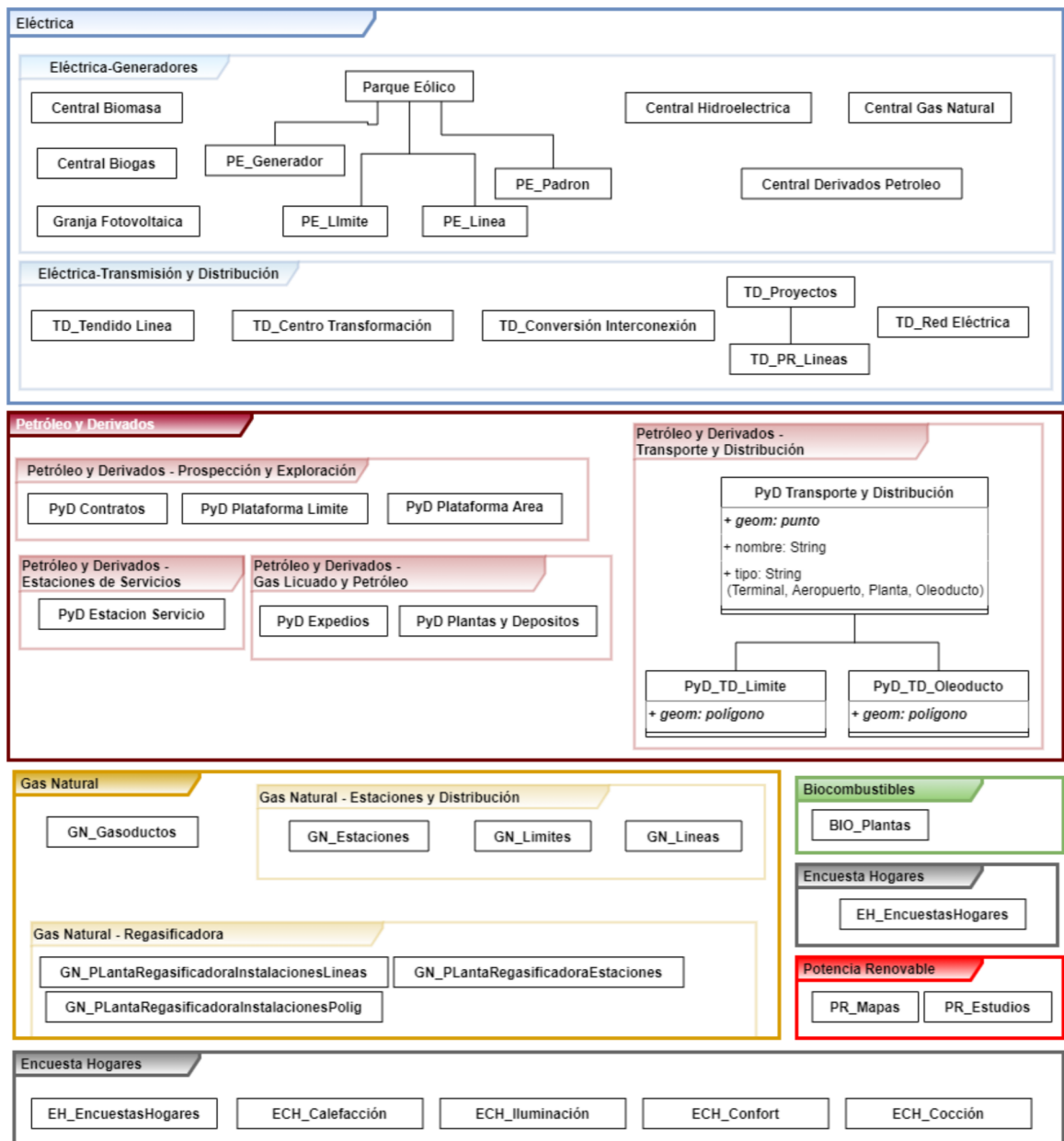


Figura 18. Diseño del nuevo modelo conceptual. Categoría Energía.

4.3. Conversión y carga

La tarea del proyecto de mayor complejidad, y en la cual se invirtió el mayor porcentaje del tiempo, ha sido la conversión de datos y la creación de las capas geográficas en el servidor geográfico.

Para definir el proceso de conversión el equipo tuvo que analizar cada uno de los orígenes de información; siendo el de mayor complejidad el archivo KMZ del mapa de Google Earth.

4.3.1. Conversión archivo KMZ

Para trabajar los datos desde este tipo de fuente, en primer lugar se exporta cada capa de las requeridas a un formato KML utilizando la aplicación Google Earth. Luego de obtenidas las capas como archivos KML, se consideraron diferentes alternativas para la extracción, transformación y carga de los datos, proceso conocido como ETL (Extract, Transform and Load).

Inicialmente se evaluó la posibilidad de utilizar la herramienta GeoKettle [32], la cual es una versión de Pentaho Data Integration [33] para procesos ETL, con capacidad de trabajar con datos espaciales. Esta alternativa fue descartada ya que se realizaron varias pruebas y no se pudo avanzar, debido a la aparición de errores al querer procesar el archivo KML. Además, se notó falta de mantenimiento y documentación de la herramienta.

Como segunda opción, se probó realizar la migración de los archivos KML directo a la Base de Datos mediante la herramienta ogr2ogr [34]. En esta instancia se notó la existencia de código HTML embebido en el XML que conforma los archivos KML, dentro de un elemento con nombre *description*. La presencia de este código HTML impidió el uso de esta herramienta ya que no le era posible distinguir en cada registro los distintos campos y los respectivos valores que presentaba, sino que, a excepción de la geometría, exportaba todos los datos en una única columna denominada *description*.

Dado que no se encontró una herramienta adecuada para el proceso ETL de los datos, se comenzó la migración de forma manual. Esto implicaba analizar el

archivo KML y transformar los datos copiando cada campo y sus respectivos valores a una planilla de Excel. Este método de transformación era viable únicamente con capas que presentaban una cantidad reducida de registros, por lo que se optó por automatizarlo.

Finalmente, se implementó una aplicación de escritorio en Java capaz de extraer los datos de un archivo KML y generar a partir de estos un CSV. Esta aplicación de escritorio es una aplicación sencilla, a la cual se le debe especificar en primer lugar la ruta absoluta del archivo KML del que se quiere extraer la información. El funcionamiento de la aplicación consiste básicamente en leer el XML del archivo, analizar sus elementos, extraer la información de interés y escribirla en un archivo CSV. Como primer paso obtiene todos los elementos XML de nombre *Placemark*, los cuales representan los distintos elementos representados en el mapa. Luego, de cada registro se extrae su información, la cual se puede dividir en dos partes:

- Por un lado se obtienen los nombres de las carpetas que lo contiene en la estructura establecida en el archivo KMZ original. Para eso se recorren los nodos padre del elemento XML, los cuales tendrán nombre *Folder*, y finaliza el recorrido cuando se llega a un nodo padre de nombre *Document*. Una vez obtenidas todas las carpetas, se creará en el archivo CSV resultante una columna por cada nombre de carpeta diferente que exista.
- Por otro lado se obtienen los campos y los valores del registro recorriendo los nodos hijos del elemento XML. De estos nodos hijos interesan únicamente los elementos XML que contengan la información espacial y la información no espacial de interés del registro. Para almacenar los datos espaciales en el archivo CSV se crean 2 columnas, una de nombre *Geometría* para indicar si la misma es un punto, un polígono o una línea, y otra de nombre *Coordenadas* con las coordenadas de la geometría indicada. Para obtener estos datos en el archivo KML, se considerarán los elementos XML que tengan como nombre:
 - *description*: Como se mencionó anteriormente, dentro de este elemento XML se encuentra un código HTML que contiene los datos del registro, con excepción de la geometría. Se realiza un procedimiento para leer este código HTML, el cual por lo general presenta una tabla, y se obtienen

los distintos campos y valores, creando en el archivo CSV resultante una columna por cada campo diferente que se encuentre.

- *Point*: Indica que el registro tiene como geometría un punto, esto se verá reflejado en la columna *Geometría* del archivo CSV como *Point*, y en la columna *Coordenadas* se indicarán la Latitud y Longitud especificadas en el elemento XML *coordinates*.
- *LineString*: Indica que el registro representa una línea, por lo que en la columna *Geometría* del archivo CSV dirá *LineString*, y en la columna *Coordenadas* se indicará el conjunto Latitud y Longitud especificado en el elemento XML *coordinates*.
- *Polygon*: Significa que el registro es un polígono, y se indica en la columna *Geometría* como *Polygon*, y en la columna *Coordenadas*, al igual que en el caso de *LineString*, se escribirá el conjunto Latitud y Longitud especificado en el elemento XML *coordinates*.

Para la implementación de esta aplicación de escritorio, fue de gran utilidad haber realizado transformaciones de forma manual, ya que nos permitió conocer a mayor detalle la estructura de los archivos KML y a partir de ahí automatizar la extracción de la información. Un ejemplo parcial del resultado de utilizar esta aplicación para transformar datos se puede ver en la Figura 19.

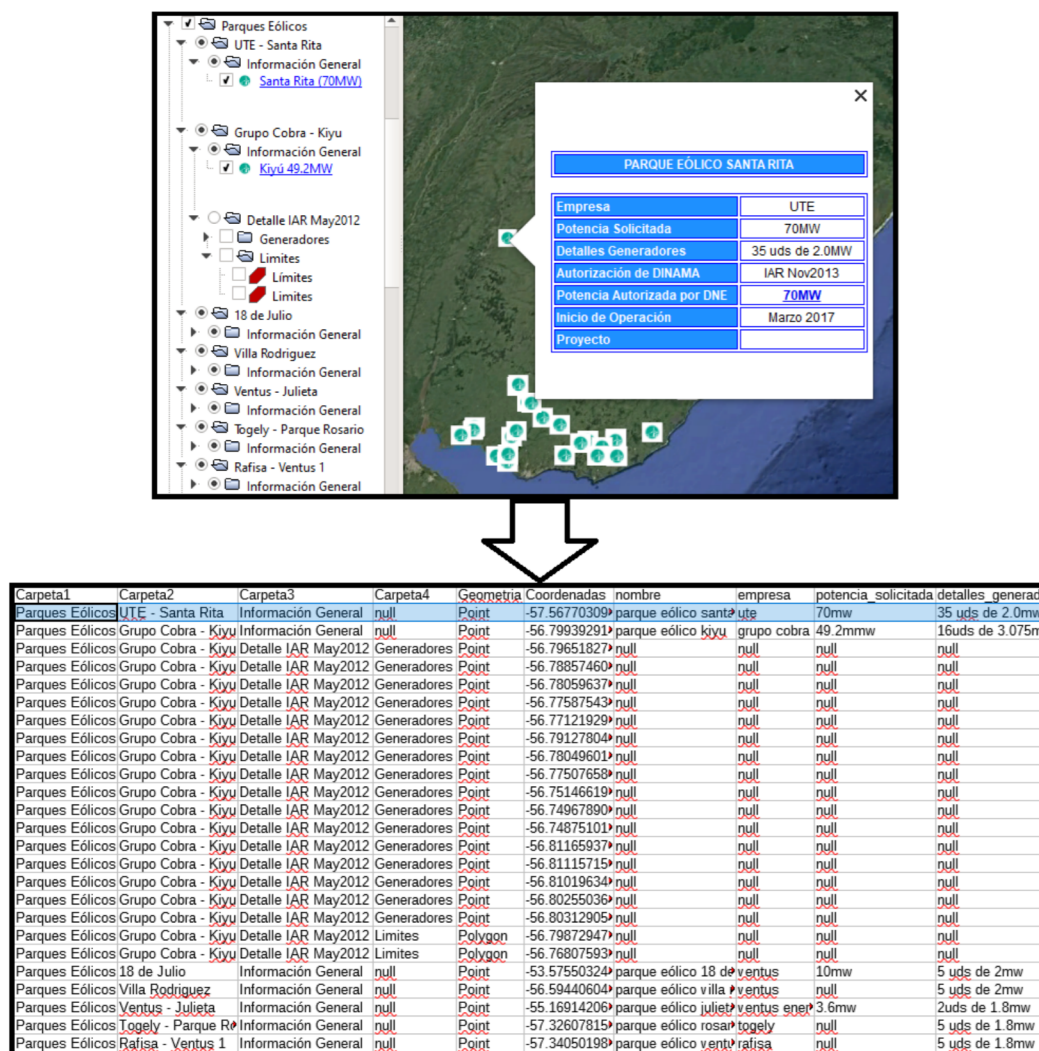


Figura 19. Transformación de archivo KML a CSV con aplicación Java.

4.3.2. Proceso de carga

Para la carga de información, se define un proceso que se lleva adelante de forma iterativa para cada una de las capas acordadas con el cliente a convertir como parte del prototipo. Los pasos necesarios para crear cada capa geográfica son:

1. *Estructura de base de datos:* De acuerdo al diseño conceptual definido en el

punto 4.2, cada capa geográfica a publicar tiene al menos una tabla de la base de datos en la cual almacenar la información. Por lo tanto, el primer paso es crear la tabla en la cual se almacena la información. En este sentido se tienen dos categorías de tablas dependiendo si se trabaja con capas geográficas o capas estadísticas.

Las tablas geográficas tienen definido un campo del tipo geométrico (punto, línea, polígono), dato que se utiliza para realizar la georeferenciación sobre el mapa. En cambio, las tablas estadísticas solo almacenan datos y tienen referencia a alguna tabla geográfica.

2. *Migrar datos:* Para cargar las tablas creadas en el punto anterior, es necesario procesar los datos de acuerdo a su origen (sección 4.1). Dependiendo del origen y tipo de datos, es la complejidad asociada a este proceso y el procedimiento utilizado:
 - a) Planillas Excel: Este tipo de origen es el más sencillo de procesar. En base a los datos proporcionados, se crean scripts con las inserciones necesarias para las distintas tablas que dan soporte a la capa.
 - b) Archivos shapeFile: Para importar este tipo de archivos, se utiliza el programa shp2pgsql [35]. Este programa convierte los archivos ESRI Shape en SQL adecuado para su inserción en una base de datos PostGIS/PostgreSQL, ya sea en formato de geometría o geografía.
 - c) Archivo KMZ: En primer lugar se utiliza el programa que convierte los datos de un archivo KMZ a CVS (Sección 4.3.1). Una vez obtenido el CVS con la información de la capa, se procesa de la misma forma que las planillas de Excel descripto en el método a).
3. *Crear capa geoServer:* Crear la capa geográfica consiste en realizar los siguientes pasos:
 - a) Crear fuente de datos y capa: para cada una de las capas, se define el origen de los datos a publicar. En este punto, se puede definir el origen directamente sobre una tabla o vista de la base de datos; ó elaborar una consulta SQL que recupere la información necesaria para la publicación. Luego se definen las características de la capa a publicar, indicando

su nombre, descripción, sistema de coordenada de referencia, límites, atributos e información adicional para su publicación.

- b)* Crear o asociar estilo: Cada capa tiene asociada una simbología la cual se define asociando un estilo. Para definir el estilo en GeoServer se utiliza el estándar SLD [36]; el cual cuenta con una gran diversidad de opciones para definir distintas simbologías dependiendo de la geometría sobre la cual se está trabajando.
 - c)* Crear grupo de capas: Algunas capas geográficas constan de más de una geometría asociada, motivo por el cual cada una de ellas tiene que ser definida en capas separadas. Sin embargo, la publicación puede hacerse en una única capa que agrupe las anteriores. Para esto, GeoServer cuenta con la posibilidad de definir grupos de capas; tarea que se realiza para cada una de las capas compuestas del prototipo.
4. *Publicar capa en aplicación web:* Una vez generada la capa en GeoServer, para publicar la misma en el visualizador web es necesario completar las tablas de configuración definidas en la base de datos. Completando esta configuración, finalmente la capa geográfica ya se puede visualizar en el aplicativo web.

En la Figura 20, se puede observar el flujo de trabajo necesario para la carga y publicación de una nueva capa geográfica.

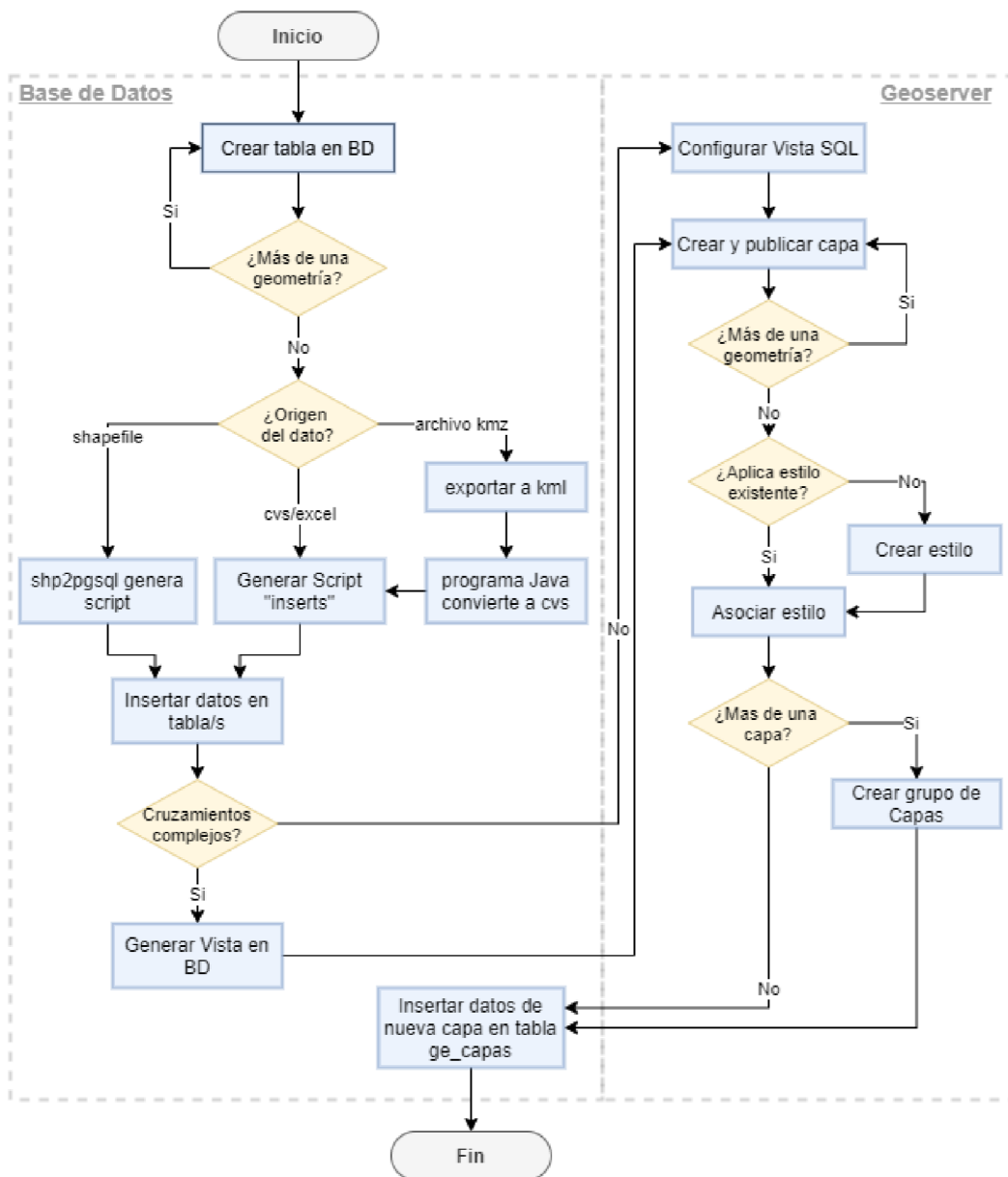


Figura 20. Flujo de tareas para la carga y publicación de una nueva capa en el sistema.

Durante el proceso de conversión, se crean 44 tablas en la base de datos para almacenar información de distintas capas y 17 vistas sql. Respecto al volumen de datos, se migran mas de un millón y medio de registros, cubriendo todas las capas acordadas con el cliente.

En el servidor geográfico (geoserver), se crea un espacio de trabajo propio para la solución, un almacén de datos, 73 capas geográficas, 4 grupos de capas y 65 estilos. El cliente envía al equipo de proyecto el nuevo pictograma definido hace un par de años por el Ministerio. Por lo tanto, como parte del proceso de migración los estilos que se crearon tienen definida la nueva simbología. En la Figura 21 se pueden observar algunos ejemplos de la nueva simbología.

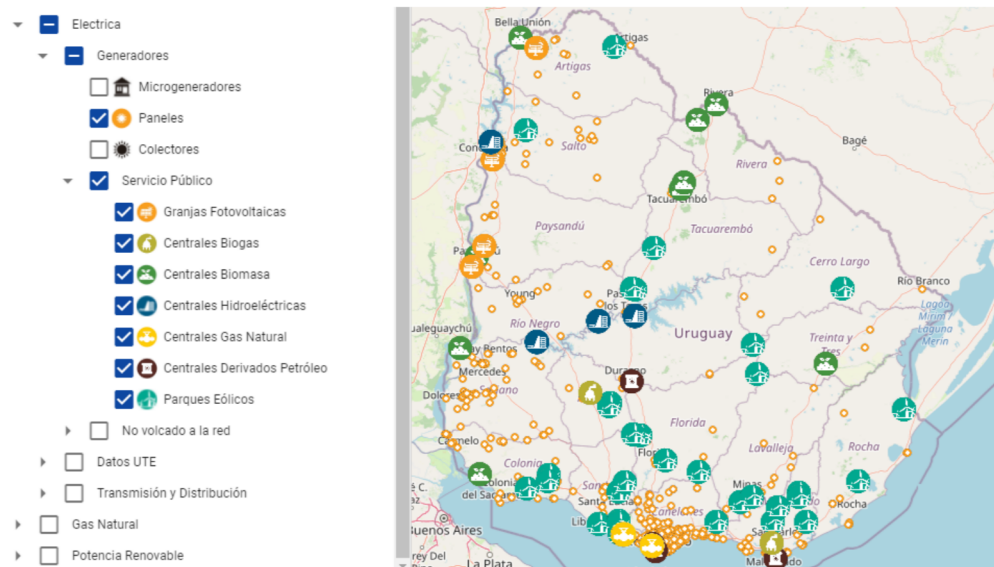


Figura 21. Nueva simbología aplicada a los estilos de las capas migradas.

5. Arquitectura e Implementación

En este capítulo se aborda la arquitectura que se aplica al prototipo a implementar. En primer lugar se realiza un enfoque sobre una arquitectura genérica que aplica al dominio de nuestro problema; definiendo las distintas capas que se utilizan. En segundo lugar, en base al enfoque planteado en el primer punto, se presenta el diseño de dicha arquitectura con cada uno de los productos utilizados para la elaboración del prototipo final. Por último, se mencionan algunos aspectos destacados de la implementación de la solución junto con las decisiones más relevantes que se tomaron a lo largo del proyecto.

5.1. Arquitectura de la solución

Existen estándares de arquitectura para los Sistemas de Información Geográfica.

OGC define una especificación para las arquitecturas GIS basado en sus estándares [38]. En la Figura 22, podemos observar un esquema de arquitectura que aplican al dominio del problema. Como se aprecia en la imagen, es una arquitectura en capas independientes.

Basado en este estándar de arquitectura, se decide implementar una arquitectura por capas para el prototipo del proyecto.

En la Figura 23 se pueden observar las tres capas definidas para la arquitectura y los componentes incluidos en cada una.

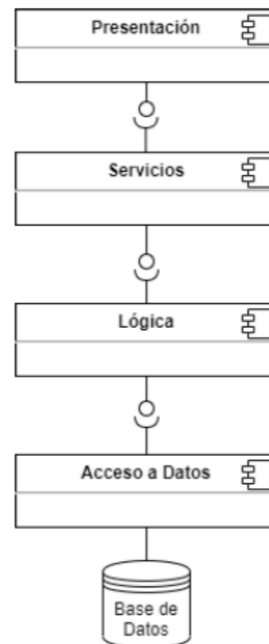


Figura 22. Diseño estándar Arquitectura de sistemas GIS. [37]

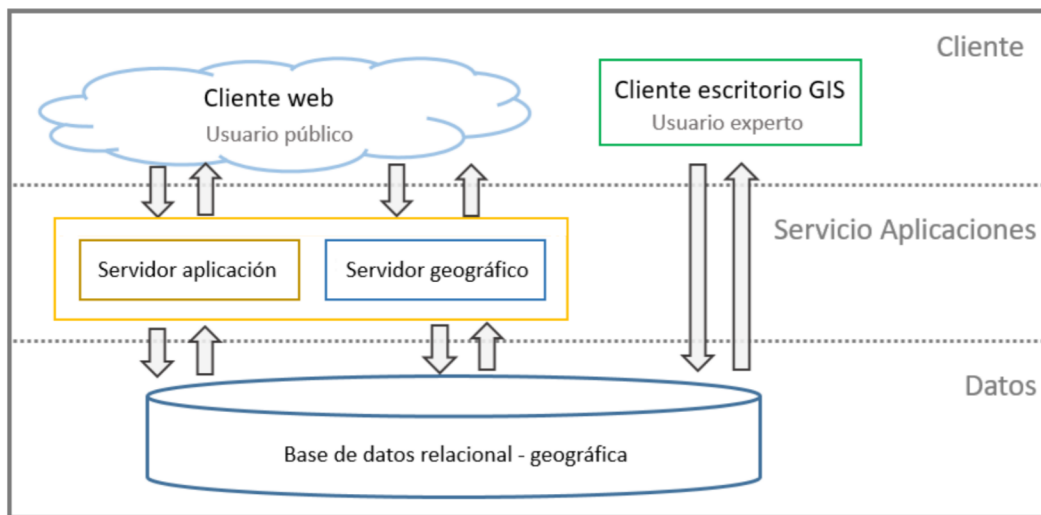


Figura 23. Diseño Arquitectura por capas y componentes.

Comenzando desde la capa inferior a la superior encontramos:

- *Datos:* Capa encargada de almacenar y manejar las distintas fuentes de datos que utilice el sistema. Los sistemas de información geográfica pueden trabajar sobre una o más fuentes de datos. Para el proyecto, se utiliza una única base de datos relacional geográfica donde se almacenan los distintos datos geográficos, estadísticos y datos adicionales que son de utilidad para la solución.
- *Servicio de Aplicaciones:* En esta capa se encuentran los distintos servicios que hacen públicos los datos. Se definen dos servidores de aplicaciones, el primero encargado de implementar los servicios para dar soporte al aplicativo web. El segundo, es un servidor geográfico encargado de hacer públicas las distintas capas geográficas del proyecto. Estos últimos son consumidos desde el aplicativo web, también pueden ser consumidos desde el Cliente GIS de escritorio o estar públicos en internet para que otros organismos puedan consultar esta información.
- *Cliente:* La capa Cliente es la encargada de hacer accesible los datos del sistema a los usuarios finales. Se definen dos componentes; el cliente GIS de escritorio, desde el cual el usuario experto lleva adelante las distintas tareas

sobre las capas geográficas. Y el cliente web, visualizador desde el cual los usuarios públicos pueden acceder a los distintos datos geográficos y estadísticos que el ministerio desee hacer públicos.

5.2. Productos utilizados

Los productos utilizados para cada componentes, se definen en base a estudios realizados sobre distintas herramientas, la experiencia previa del equipo de proyecto obtenida de estudios académicos previos (Taller de Sistemas de Información Geográficos Empresariales [39]) y experiencias laborales.

Tomando como punto de partida la Figura 23, se construye la Figura 24 que detalla cada uno de los productos utilizados en cada componente de la arquitectura.

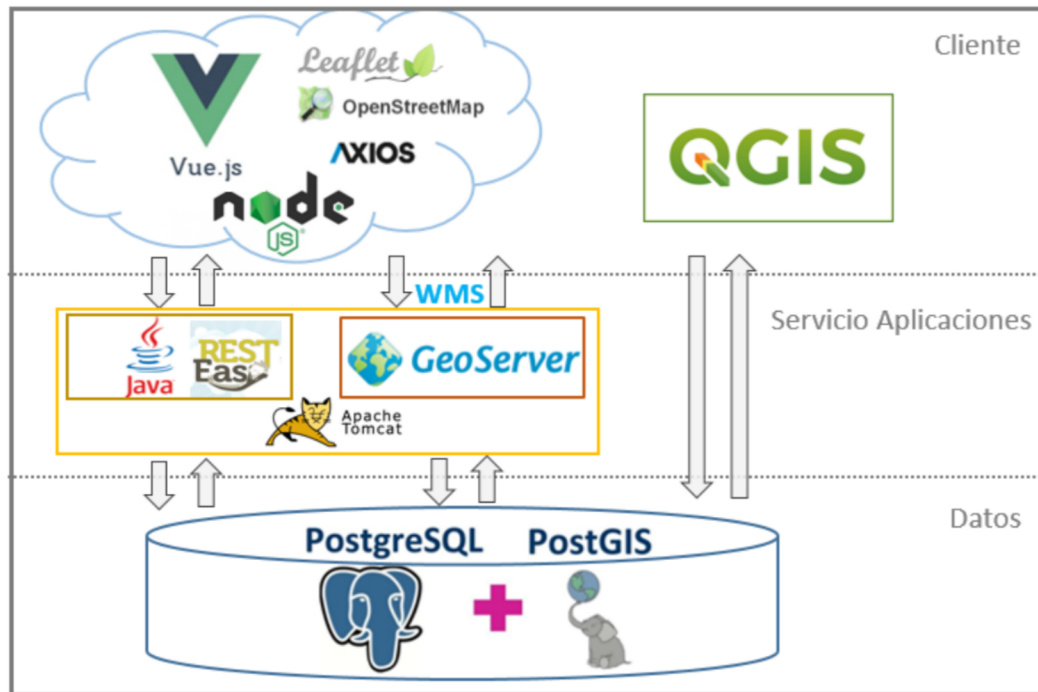


Figura 24. Productos utilizados para cada componente.

5.2.1. Base de datos

Para implementar la base de datos se utiliza el motor PostgreSQL [40], sistema de base de datos relacional de objetos de código abierto con más de 30 años de desarrollo activo; que se ha ganado una sólida reputación por su fiabilidad, solidez de funciones y rendimiento.

Con el objetivo de poder almacenar datos espaciales, se añade a la base de datos la extensión PostGIS [41]. Esta extensión añade tipos de datos espaciales (puntos, líneas, polígonos), índices espaciales y funciones para poder manipular estos datos espaciales; permitiendo realizar cruzamientos de información necesarios para el ámbito del proyecto.

5.2.2. Servidor geográfico

Se utiliza GeoServer [29] para poder hacer públicas las distintas capas geográficas de la solución. GeoServer es un servidor de mapas libre, escrito en lenguaje Java [42] y ejecuta sobre un servidor Apache Tomcat [43] que permite una gran flexibilidad en la creación de mapas y el intercambio de datos.

GeoServer implementa el estándar Web Map Service (WMS)[21] lo cual facilita la creación de mapas proporcionando una gran variedad de formatos de salida. Tiene integrada la biblioteca de mapas gratuita OpenLayers, que hace que la generación de mapas sea rápida y fácil.

Cumple con el estándar Web Feature Service (WFS)[44] y el estándar Web Coverage Service (WCS)[45] que permite compartir y editar los datos que se utilizan para generar los mapas. Esta funcionalidad no se utiliza en el prototipo actual del proyecto, pero es de mucha utilidad para realizar futuras extensiones.

GeoServer también utiliza el estándar Web Map Tile Service [46] para dividir sus mapas publicados en mosaicos para facilitar el uso de mapas web. Esto es de suma importancia para el proyecto, para lograr desplegar mapas complejos de forma ágil en el cliente web.

5.2.3. Servidor de aplicaciones

En este servidor se implementa la funcionalidad necesaria para dar soporte a la aplicación web haciendo accesible los datos. En este punto se encuentran todos los servicios extras que no son provistos por el servidor geográfico; entre ellos el acceso a las tablas de configuración de la aplicación definidas en la base de datos. Para implementar los servicios REST se utiliza el lenguaje Java [42] y la librería RESTEasy [47], esta última es un proyecto de JBoss que facilita la creación de servicios RESTful en java. Estos servicios al igual que el servidor geográfico utilizan un servidor Apache Tomcat para su ejecución.

5.2.4. Cliente Web

El visualizador web se implementa utilizando la tecnología NodeJs [48] como servidor Web, y el framework Vue.js [49] de JavaScript para la construcción de las interfaces de usuario.

A su vez, se utiliza la biblioteca Leaflet [50], la cual es una biblioteca JavaScript de código abierto que permite trabajar con mapas en la web. Esta biblioteca permite integrarse con varios proveedores de mapas, en nuestro caso se utiliza OpenStreetMap (OSM)[51] como mapa base sobre el cual se despliegan las distintas capas geográficas. Para recuperar y desplegar las distintas capas sobre el mapa, Leaflet provee una implementación del estándar WMS y WMTS lo que permite recuperar información publicada desde el GeoServer de forma sencilla.

El cliente se comunica con los servidores por medio del protocolo HTTP, para esta comunicación se utiliza la librería Axios [52]. Axios es un cliente HTTP basado en promesas simples para el navegador y NodeJs, que proporciona una biblioteca fácil de usar en un paquete pequeño con una interfaz muy extensible.

5.2.5. Cliente escritorio GIS

Para trabajar sobre las capas geográficas se utiliza la herramienta QGIS [30]. Es un Sistema de información geográfica de software libre y código abierto, que permite trabajar con capas geográficas junto con sus datos, previsualizarlas, realizar

cruzamientos de datos de forma sencilla, elaborar informes, entre otras funcionalidades.

Además de ser una herramienta completa y que permite trabajar con la mayoría de los estándares geográficos, es una herramienta que conoce y maneja el cliente, motivo que lleva a la elección de la misma para completar los componentes del proyecto.

5.3. Prototipo aplicación web

En base al diseño acordado con el cliente y detallado en el punto 3.4, se implementa el visualizador web que se puede apreciar en la Figura 25.

Para el diseño de la página se utiliza la paleta de colores correspondiente a la página principal del Ministerio de Industria, Energía y Minería [53]. De igual forma, el logo institucional utilizado y el estilo de la web son de acuerdo al estándar solicitado por el cliente.

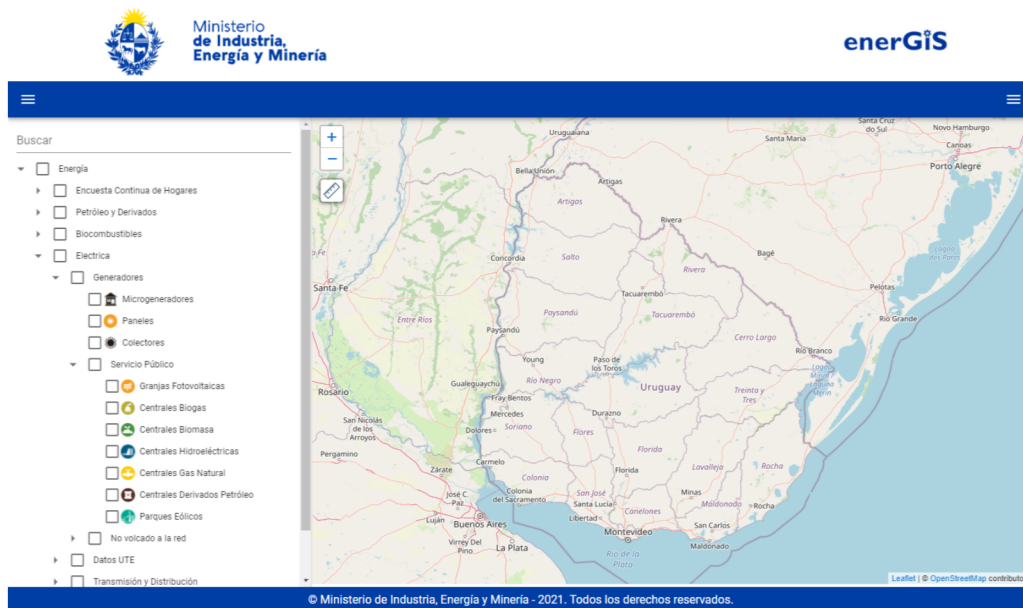


Figura 25. Visualizador web implementado como parte del prototipo.

La simbología utilizada para las distintas capas se puede diferenciar en tres

tipos de estilos y diseños:

- *Entidades en capas individuales:* En la Figura 26 se aprecian distintas entidades seleccionadas en el árbol de opciones del menú de la izquierda de la pantalla. En el centro, se observa la georeferenciación de cada una de las entidades identificadas con el símbolo que la caracteriza. Esta simbología fue proporcionada por el propio Ministerio. Al realizar click sobre alguna de las entidades, en el panel de detalle (a la derecha de la pantalla), se visualiza la información asociada a esa entidad. En la figura se pueden apreciar los datos asociados a la represa Constitución: Nombre, Empresa, Tipo Servicio, Potencia Instalada, Turbinas, Inicio Operación, Fuente de información y una foto de las instalaciones.
- *Entidades en grupos de capas:* Los grupos de capas son utilizados cuando más de una geometría forman parte de una misma instalación. Como vimos anteriormente (punto 4.2) los Parques Eólicos se componen de sus molinos, líneas de interconexión y sus límites. En la Figura 27 se puede ver cómo cada una de las componentes del parque tiene su propia simbología, sin embargo pertenecen a una sola capa accesible desde la web.
- *Capas estadísticas:* A diferencia de los dos estilos anteriores, las capas estadísticas utilizan una entidad geográfica sobre la cual visualizarse. En el prototipo todas estas aplican sobre los departamentos del país. En la Figura 28 se consulta el porcentaje de hogares del departamento que utilizan electricidad como fuente de energía para calefacción. En este sentido, dependiendo del valor del porcentaje, es la intensidad del color asignada a ese departamento.

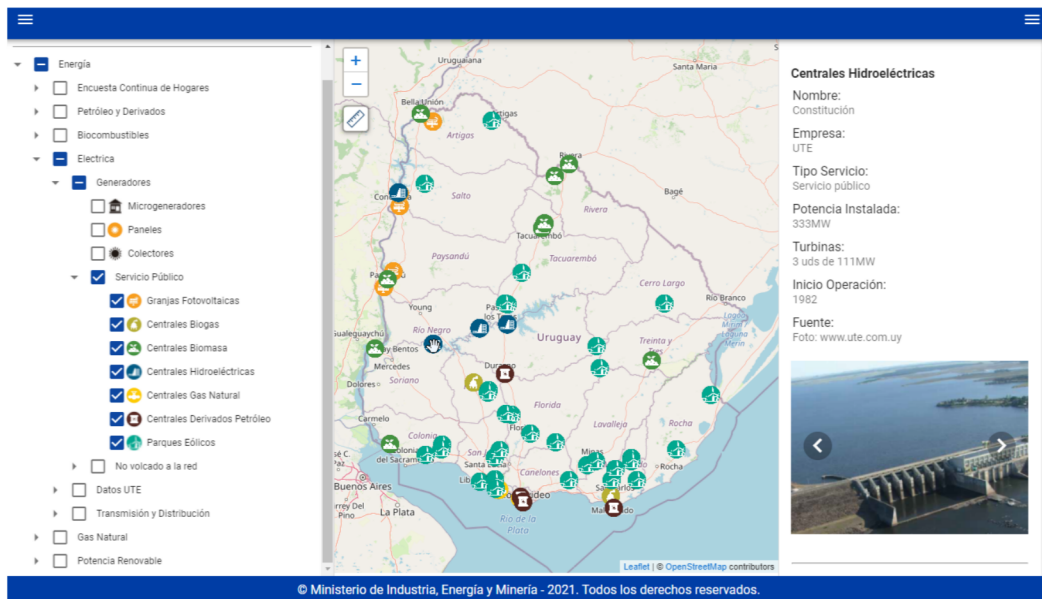


Figura 26. Visualizador web. Consulta de capa geográfica de fuentes energéticas. Consulta detalle de una central hidroeléctrica.

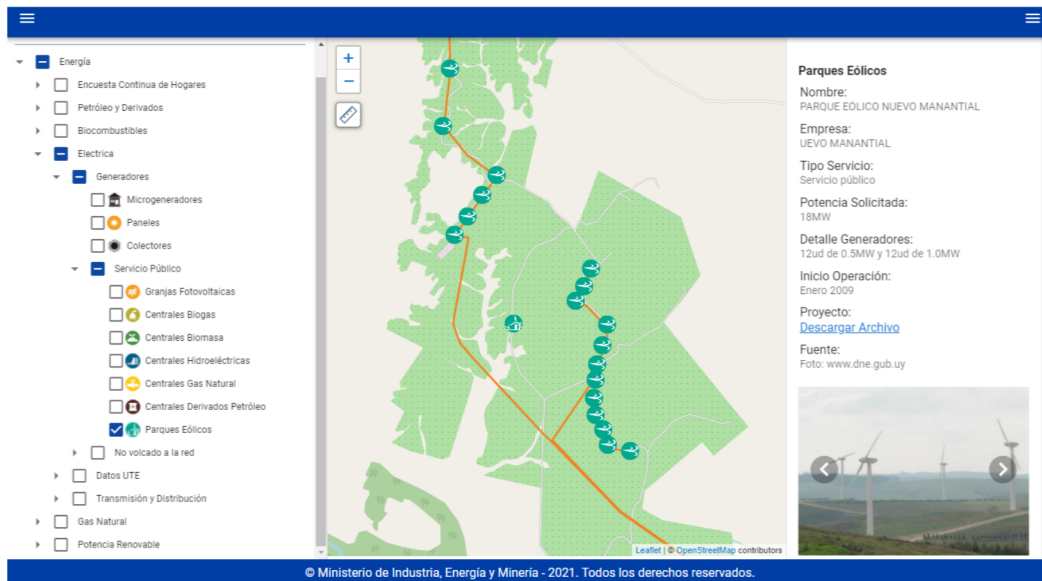


Figura 27. Visualizador web. Consulta de capa geográfica de parques eólicos. Al ser un grupo de capas, se pueden observar los distintos generadores y las líneas de interconexión.

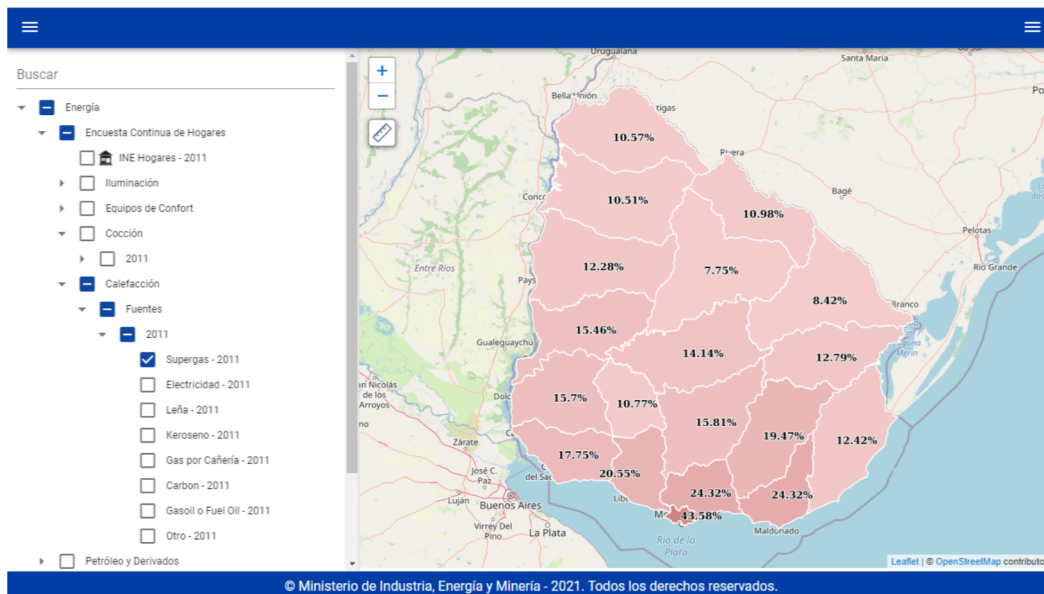
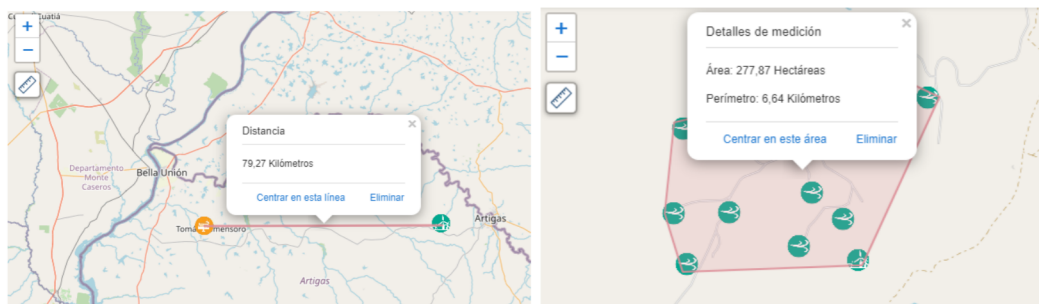


Figura 28. Visualizador web. Consulta de capa estadística. Porcentaje de hogares del departamento que utilizan electricidad como fuente de energía para calefacción.

Uno de los requerimientos deseables por el cliente es poder contar con la posibilidad de realizar mediciones directamente sobre el visualizador web. Para cumplir ese cometido, se incorpora una herramienta de medición sobre el mapa. Esta herramienta permite medir distancias y áreas.

En la Figura 29a se puede observar una medición de distancia en línea recta entre un parque eólico y una granja fotovoltaica. Y en la Figura 29b se traza al área que ocupan los generadores de un parque eólico y la herramienta provee la medida del perímetro y el área del polígono.



(a) Distancia entre parque eólico y granja foto-voltaica. (b) Área utilizada por los generadores de un parque eólico.

Figura 29. Herramienta de medición incorporada al visualizador web.

5.4. Pruebas y Validación

Una vez implementado la primera versión del visualizador web, se presenta la solución al cliente, para que pueda realizar una primera evaluación del prototipo. Esta presentación tenía como objetivo validar la funcionalidad del prototipo web y los estilos que se estaban aplicando a las capas geográficas convertidas. Para ello, el equipo presentó distintas capas estratégicamente seleccionadas para mostrar los diferentes estilos que se iban a aplicar al resto.

Obtenida la aprobación del visualizador por parte del cliente, el equipo de proyecto publica la solución completa en un servidor público de “*Mi Nube de Antel*” [54]. Esta tarea pudo realizarse gracias a un convenio entre Antel y la Facultad de Ingeniería, que permite disponer de un servidor Linux con fines académicos por un período de seis meses. Contar con total accesibilidad a la solución por parte del cliente, le permitió realizar las validaciones entre los distintos integrantes de su equipo, incluso realizar presentaciones de la solución a los directores del área. Las principales tareas de validación por parte del cliente consisten en:

- Funcionalidad del visualizador web.
- Integridad y calidad de los datos migrados.
- Simbología utilizada en cada capa.

Mientras el cliente realizaba la validación de las capas ya migradas, el equipo de proyecto continuó realizando la conversión de datos hasta completar la totalidad

de capas acordadas.

A medida que el equipo del Ministerio fue sugiriendo cambios y mejoras en el visualizador, se realizaban los ajustes necesario y una vez publicada la nueva versión en el servidor público, se comunicaba al cliente para su validación. Luego de varios intercambios, se llegó al prototipo final el cual incluyó todas las mejoras que fueron surgiendo y algunas capas de datos extras solicitadas.

Si bien la implementación del prototipo inicial se realizó siguiendo la metodología en cascada, la posterior carga de datos al prototipo se realizó de manera incremental, comenzado primero con aquellos datos que tenían mayor prioridad para el cliente, hasta completar con todos los datos pactados. Cada vez que se convertía un nuevo conjunto de datos, eran publicados en el servidor para que el cliente validara la nueva información.

En cuanto a las pruebas de parte del equipo correspondientes al visualizador, se llevaron a cabo varios casos de prueba de forma manual para verificar que las funcionalidades del visualizador estuvieran correctamente implementadas y tuvieran el comportamiento esperado.

En lo que respecta a las pruebas del backend, es decir, los servicios que son consumidos por el visualizador para mostrar las diferentes capas y categorías de los datos, se utilizó la herramienta Postman[55]. Esta herramienta es un cliente de servicios web, que permite crear rápidamente solicitudes con el método HTTP [56] y parámetros en caso de necesitarlo, enviar la solicitud e inspeccionar fácilmente los resultados.

6. Gestión de Proyecto

El siguiente capítulo tiene como objetivo describir el proceso de la gestión del proyecto. Se muestran las distintas planificaciones, desvíos existentes, principales hitos, herramientas y metodología utilizada.

Para presentar las planificaciones de forma esquemática y clara, se presentan distintos diagramas Gantt.

6.1. Gestión

El presente proyecto se confirma a finales de Agosto y da comienzo en el mes de Setiembre de 2020, siendo parte de la asignatura "Proyecto de Grado" de la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.

El proyecto da inicio con una reunión introductoria con la tutora, en la cual nos cuenta el contexto y objetivos del proyecto. Nos informa acerca del cliente y sus necesidades, así como se plantea el alcance general y una planificación macro. Esta planificación macro puede verse en el diagrama Gantt de la Figura 30. El objetivo de esta primera planificación fue distinguir las cuatro fases principales del proyecto (Planificación-Investigación, Análisis-Diseño, Desarrollo y Pruebas-Documentación). Para las dos primeras etapas se define un tiempo estimado de dos meses, mientras que para las dos últimas se consideran tres meses para cada una.

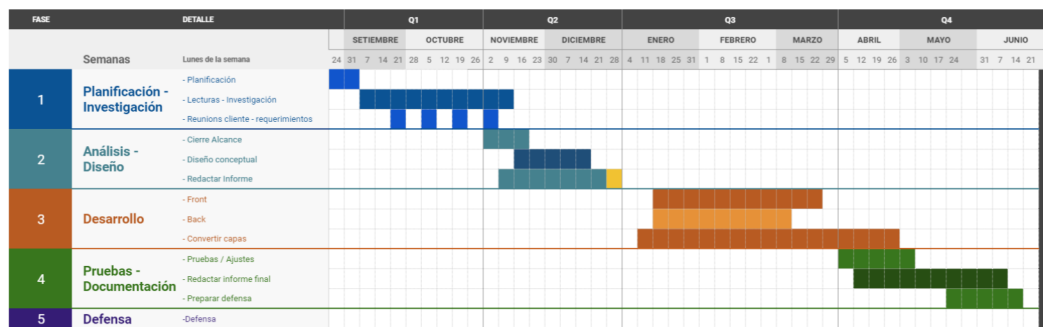


Figura 30. Diagrama Gantt. Planificación macro realizada al inicio del proyecto.

Esta planificación macro se utiliza como guía para el resto del proyecto

Luego de la reunión introductoria, el equipo de proyecto comienza su inves-

tigación sobre el área en la cual se desempeña el cliente y realiza las primeras investigaciones sobre Sistemas de Información Geográfica.

6.1.1. Fases del Proyecto

A continuación se describen las cuatro etapas realizadas en el desarrollo del proyecto, los objetivos de cada una y sus principales entregables.

La planificación inicial, las principales tareas y los hitos se ven reflejados en la Figura 31.

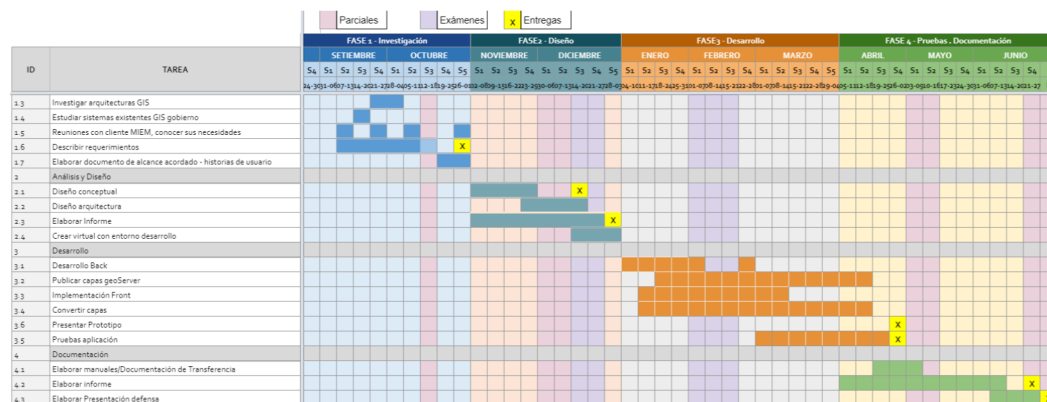


Figura 31. Diagrama Gantt. Planificación inicial elaborada en los primeros meses del proyecto, luego de establecidas las primeras reuniones con el Cliente.

6.1.1.1. Planificación e Investigación

Para esta fase se plantea una duración de dos meses y sus principales tareas son:

- Realizar una planificación inicial del proyecto.
- Mantener reuniones quincenales con el cliente para conocer su negocio y las necesidades actuales. Cada reunión es acompañada de su respectiva acta.
- Investigar acerca de los Sistemas de Información Geográfica en general y especialmente los aplicados al área energía y organismos públicos.
- Elaborar documento de requerimientos en formato Historias de Usuarios.

Entregable de la fase:

- + Documento de Requerimientos en formato de Historias de Usuario, el cual se entrega al cliente para su evaluación y aprobación.

6.1.1.2. Análisis y Diseño

Se establecen dos meses de tiempo para esta fase, la cual tiene como principales tareas:

- Realizar un diseño conceptual de los datos de negocio. Elaborar un diseño conceptual de las capas existentes en el sistema actual del Ministerio.
- Estudiar y diseñar la arquitectura del sistema.
- Comenzar el informe final, incluye los primeros puntos en base a las lecturas y estudios de la fase anterior.
- Crear un entorno de desarrollo común para el equipo.

Los entregables de la fase:

- + Esquema del diseño conceptual. Este documento se entrega al cliente y se solicita su validación y aceptación.
- + Documento de la arquitectura planteada.
- + Primera versión del informe final.

6.1.1.3. Desarrollo

Para la etapa de desarrollo se planifican tres meses de trabajo, en donde se realizan las siguientes tareas:

- Convertir el conjunto de capas geográficas indicadas por el cliente. Esto incluye migrar la información desde el origen actual hasta la nueva base de datos a utilizar.
- Configurar y publicar las capas geográficas en GeoServer.
- Desarrollar el prototipo del aplicativo web.
- Probar y testear el acceso de las capas migradas desde el aplicativo web.

Los entregables de la fase:

- + Confirmar diseño y funcionamiento del prototipo. Obtener aceptación por parte del cliente.
- + Validar y confirmar las capas migradas.
- + Presentación de avance del proyecto.

6.1.1.4. Pruebas y Documentación

Para la etapa de pruebas y documentación se planifican tres meses de trabajo.

Tareas:

- Elaborar documentación acerca de la solución, herramientas y manual de mantenimiento.
- Publicar el sistema en servidor público para poder ser testeado por el cliente.
- Finalizar el informe final del proyecto.

Los entregables de la fase:

- + Documento con herramientas y versiones utilizadas en la solución.
- + Manual de mantenimiento y un paso a paso de cómo incluir nuevas capas geográficas en la solución.
- + Entrega del software de la solución.
- + Informe final.

6.1.2. Desviaciones

La planificación inicial del proyecto (Figura 31) fue afectada por varios factores. En la Figura 32 se observa la planificación final, de donde se desprende que las dos fases que sufrieron alteraciones fueron las finales.

En la fase de Desarrollo, la complejidad del procesamiento y conversión de datos desde el origen; requirió mayor trabajo del estimado. Esto se debió principalmente a dos factores; el primero es que algunas capas debían ser normalizadas de forma manual y esa tarea incurrió más tiempo del planificado. En segundo lugar, el cliente solicita ampliar el conjunto de capas originales, tarea que el equipo de proyecto acepta realizar aunque la misma afectara la planificación.

En la fase de Pruebas y Documentación, el equipo tuvo problemas con el servidor externo sobre el cual debía publicarse la solución; resolver el inconveniente incurrió una espera del trámite y un trabajo extra que afectó la planificación en tres semanas. De forma adicional, en esta fase el equipo continuaba migrando capas geográficas en base a cambios solicitados por el cliente.

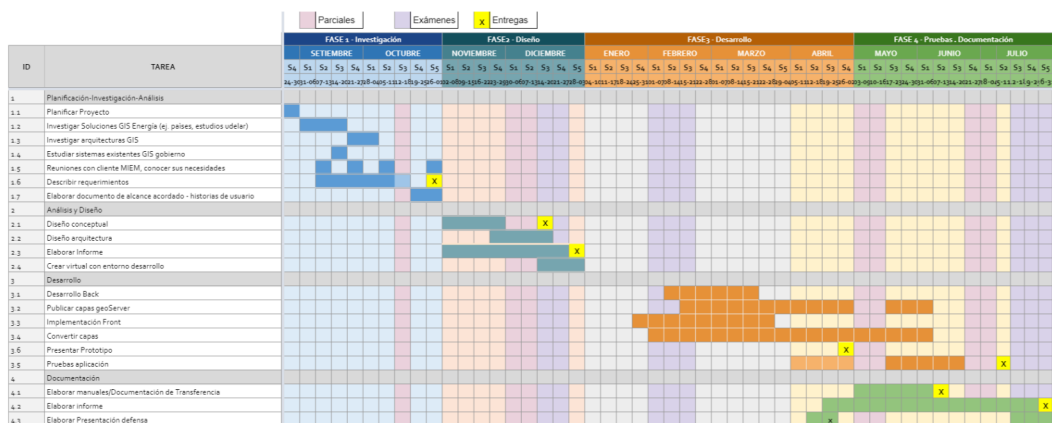


Figura 32. Diagrama Gantt. Cronograma final del proyecto. Se puede apreciar los desvíos respecto a la planificación inicial (Figura 31).

6.1.3. Metodología

Al inicio del proyecto se evaluó qué metodología utilizar entre las más comunes, ágil y en cascada.

El equipo de proyecto decidió utilizar un enfoque en cascada para la implementación de la solución, realizando un desarrollo secuencial con etapas bien diferenciadas y llevadas a cabo de forma sucesiva. Dichas etapas fueron las mencionadas en el punto anterior.

Para esta decisión se tuvo en cuenta principalmente el contar con un conjunto de requerimientos bien definidos y fijos, donde además el mayor porcentaje del trabajo correspondió a la transformación de datos, tarea que no requiere de la participación del cliente. Las etapas en las que el cliente tuvo una participación constante, fueron las etapas inicial y final, correspondientes al Análisis y Diseño de la solución y Pruebas de la misma. Este punto es una de las características principales en un enfoque en cascada, diferenciándose con el enfoque ágil que requiere de una participación continua del cliente en todo el desarrollo del proyecto.

También, al contar con requerimientos bien definidos y fijos, se prevé que la solución no requerirá de cambios significativos, los cuales conllevarían un mayor esfuerzo en este tipo de metodología.

6.2. Herramientas

Durante el proyecto se utilizaron distintas herramientas, cada una de ellas con un propósito específico.

- **Trello:** Software utilizado para la gestión de proyectos de forma colaborativa [57]. Permite crear tablero, lista de tareas, asignar recursos y tener una visión clara del estado del proyecto.
- **Google Docs:** Repositorio de documentación y trabajo colaborativo [58]. Esta herramienta fue utilizada para elaborar toda la documentación y compartir documentación entre el equipo y con el cliente (a excepción del informe final).
- **Gitlab:** Gestor de repositorios Git basado en la web con wiki, seguimiento de problemas y características de canalización. Se utiliza el repositorio proporcionado por la Facultad de Ingeniería [59] con licencia de código abierto.
- **Overleaf:** El informe final se construye utilizando LaTeX por medio de la herramienta Overleaf [60], la cual permite el trabajo colaborativo entre los integrantes del equipo.
- **Otras:** Para la comunicación interna del equipo se utiliza Whatsapp y las reuniones se realizan utilizando la herramienta para videoconferencias Zoom [61].

7. Conclusiones y Trabajo futuro

7.1. Conclusiones

El objetivo del proyecto fue proponer una solución para un Sistema de Información Espacial y Estadística sobre Energía. Esta solución debe partir del conjunto de datos no sistematizados que cuenta el Ministerio, logrando sistematizarlos. La solución debe ser documentada para que el cliente continúe la carga de información y pase a ser su principal base de datos de información geográfica y estadística.

Para cumplir con lo planteado, se realizó un análisis detallado acerca del estado del arte del sector energético de nuestro país. Esto nos permitió adquirir conocimientos acerca del progreso y la transformación de la matriz energética en el Uruguay. También se llevó a cabo una investigación acerca de otras soluciones GIS ya existentes en otros países. Esto nos permitió definir la arquitectura de la solución, pudiendo así determinar los distintos componentes a utilizar y las funcionalidades que se llevan a cabo en cada uno.

El estudio detallado de los datos de negocio utilizados por el Ministerio, permitió realizar un diseño conceptual, logrando sistematizar la información. En base al nuevo diseño, el proceso de conversión de la información fue el principal reto del proyecto. Luego de definir un procedimiento para esta tarea se convierte toda la información acordada con el cliente.

Para la construcción del prototipo, se optó por una arquitectura en tres capas. La primer capa corresponde al cliente, en donde se encuentra un cliente web que consume los servicios provistos por los servidores de la capa de aplicaciones. Un servidor de aplicaciones propio de la solución y un servidor geográfico, ambos acceden a una base de datos relacional para obtener la información. También se definió el cliente QGIS como herramienta de escritorio para poder trabajar sobre las distintas capas geográficas.

En cuanto a las tecnologías utilizadas para la implementación del visualizador web, se optó por utilizar tecnologías conocidas como Java, Apache Tomcat, Post-

greSQL, y algunas más modernas y vanguardistas como Vue.js, NodeJs y Leaflet. Cabe destacar que la tecnología Vue.js utilizada para el desarrollo del frontend, era desconocida para los integrantes del proyecto, lo que significó un desafío inicial para lograr comprender su funcionamiento, pero una vez que se alcanzó un nivel suficiente como para dar paso a la implementación, se destaca que esta tecnología es muy versátil y con gran nivel de escalabilidad, debido a que tiene un gran ecosistema mantenido por los propios desarrolladores del core y una comunidad que existe detrás de Vue.js.

Durante el desarrollo y carga de información se realizaron pruebas unitarias de los distintos componentes. También se publica la solución en un servidor público, lo que permitió que el cliente realizara la validación de datos, formatos y funcionalidad.

Una vez validada la solución, se elabora un manual de mantenimiento el cual se entrega al cliente. El manual describe cada uno de los componentes, cómo utilizar las principales herramientas y un paso a paso de cómo publicar nuevas capas geográficas y estadísticas. Este documento es esencial para que el cliente continúe la carga de información y evolución del sistema.

A partir de esto, concluimos que se lograron cumplir con los objetivos planteados al inicio del proyecto. Construimos una solución para un Sistema para Información Espacial y Estadística sobre Energía para el Ministerio; entregando la documentación necesaria para que pueda continuar con su evolución. La solución planteada permitió sistematizar los datos actuales del Ministerio, dotándolos de herramientas que les permite realizar el trabajo de forma colaborativa.

7.2. Trabajo futuro

El proyecto ha sido un punto interesante de partida para crear el primer Sistema de Información Geográfica para el área de Planificación, Estadística y Balance del Ministerio. Para continuar la evolución, consideramos que los siguientes puntos completarán el trabajo y enriquecerían la solución:

- *Datos:* Continuar la carga de información al sistema, incluyendo las capas que quedaron fuera del alcance de este proyecto.
- *Metadatos:* Las capas geográficas, pueden ser complementadas y generar valor agregado creando Metadatos. Los Metadatos incluyen información sobre el origen de los datos, calidad de la información, entre otros (ISO 19115 - Estructura Metadatos). Adicionalmente es una muy buena práctica para documentar la información.
- *Servicios de Catálogo:* Una vez generados los Metadatos, se puede crear servicios de catálogo con las capas que deseen hacerse públicas. Estos servicios habilitarían a la población u otras instituciones a buscar, consultar y consumir la información generada por el Ministerio. OGC cuenta con un estándar llamado *Catalog Service for the Web (CSW)*[62].
- *IDE:* Uruguay al igual que otros países e instituciones, cuenta con IDEs de Información Geográfica (IDE-Uy [63]). Hay algunas capas de información del Ministerio que aportan información interesante y no contiene información confidencial. Esas capas podrían integrarse a la IDE-Uy u otra posibilidad es que el Ministerio genere y publique sus propios nodos IDE enfocados en Energía.
- *Funcionalidad:* El visualizador implementado en el proyecto está pensado para ser de acceso público. Sería interesante agregarle una gestión de usuarios; dotando a cada uno con distintos perfiles de acceso y cada perfil contar con distintas opciones de visibilidad sobre la información. Con esto, se podrían incluir otras capas de información confidencial para ser visualizadas únicamente por personal autorizado.

Basado en este mismo concepto, podrían generarse capas geográficas con re-

sultados sobre informes o estudios realizados; los cuales sean distribuidos al personal de interés utilizando el visualizador de forma privada.

Referencias

- [1] Naciones Unidas. Agenda para el desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/progress-report/>. Acceso: 2020-12-28.
- [2] Uruguay Dirección Nacional de Energía. Política Energética 2005-2030. <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/documents/20182/22528/Política+Energética+2005-2030/841defd5-0b57-43fc-be56-94342af619a0>. Acceso: 2020-12-28.
- [3] Euroinnova Business School. Energías Renovables. <https://www.euroinnova.edu.es/blog/cuales-son-las-fuentes-de-energia-renovables-y-no-renovables>. Acceso: 2020-12-28.
- [4] Foto: Ricardo Figueredo El País. Parque solar fotovoltaico, Uruguay. <https://negocios.elpais.com.uy/noticias/comenzo-operar-parque-solar-fotovoltaico-grande-uruguay.html>. Acceso: 2020-12-29.
- [5] Acciona. Energía Solar. <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/>. Acceso: 2020-12-28.
- [6] LaRed21. Parque eólico en Artigas, Uruguay. <https://www.lr21.com.uy/comunidad/1165201-parque-eolico-artigas-generara-energia-eolica-consumo-100-000-uruguayos>. Acceso: 2020-12-29.
- [7] ASOCIACIÓN CULTURAL Y EDUCATIVA URUGUAY MARÍTIMO. Represa hidroeléctrica, Rincon del Bonete, Uruguay. <https://www.visionmaritima.com.uy/noticias/logistica-noticias/comision-cuenca-del-rio-negro-contara-centro-regional-logistico-represa-rincon-del-bonete/attachment/rincon-del-bonete-2/>. Acceso: 2020-12-29.
- [8] ALUR. Planta 2 Biodiesel, Capurro, Uruguay. <http://www.alur.com.uy/agroindustrias/capurro/>. Acceso: 2020-12-29.
- [9] Endesa. Centrales Biomasa. <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>. Acceso: 2020-12-28.

- [10] Datos Espaciales y los Sistemas de Información Geográfica. <https://www.aulageo.cloud/course/unal-sig-20173/media/650cee0847ca3c514f8948f8477d16abe1c738a8/Lectura02-Proeva-IntroduccionSIG.pdf>. Acceso: 2020-12-28.
- [11] Víctor Olaya. *Sistemas de Información Geográfica*. <https://volaya.github.io/libro-sig/>, 1st edition, 2014.
- [12] Inc. Environmental Systems Research Institute. ¿Qué son los datos ráster? <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>. Acceso: 2020-12-29.
- [13] Datos Raster. <https://geoinnova.org/blog-territorio/modelo-vectorial-y-modelo-raster>. Acceso: 2020-12-28.
- [14] FING Curso TSIG. Conceptos Introdutorios Sistemas de Información Geográfica. https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/283801/mod_resource/content/1/ConceptosIntrodutor. Acceso: 2021-07-06.
- [15] SIG y teledetección. http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad2/td_sig.htm. Acceso: 2020-12-29.
- [16] Universidad Politecnica de Catalunya. Estudio hidrográfico del Río Basento (Italia) . <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6074/04.pdf>. Acceso: 2020-12-29.
- [17] ¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica? <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/>. Acceso: 2021-07-28.
- [18] gvSIG Association. gvSIG . <http://www.gvsig.com/en>. Acceso: 2020-12-29.
- [19] OGC. Open Geospatial Consortium (OGC). <https://www.ogc.org/about>. Acceso: 2020-12-30.
- [20] OGC. Geographic information — Simple feature access. <https://www.ogc.org/standards/sfa>. Acceso: 2021-07-05.

- [21] OGC. Web Map Service. <https://www.ogc.org/standards/wms>. Acceso: 2021-07-05.
- [22] GIS y Mapas geomapik Geotecnologías. Estándares WMS, WMTS, WFS y WCS del OGC: qué son y diferencias. <http://www.geomapik.com/webmapping-gis/estandares-ogc-wms-wmts-wfs-wcs/>. Acceso: 2020-12-30.
- [23] Edurne Castell Marcos Laura Alemany Gómez. *SIG y Visor Web de energía solar y eólica. Aplicación práctica en el País Vasco*. PhD thesis, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2013.
- [24] Presidencia de la Nación Secretaría de Energía. Información Geográfica Energía. <https://sig.se.gob.ar/visor/visorsig.php?t=1>. Acceso: 2020-12-28.
- [25] Gobierno de España. Geo Portal España. <https://sig.mapama.gob.es/geoportal/>. Acceso: 2020-12-28.
- [26] Naciones Unidas. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/>. Acceso: 2020-12-28.
- [27] Oficina de Planeamiento y Presupuesto. Hacia una Estrategia Nacional de Desarrollo, Uruguay 2050. <https://www.opp.gub.uy/es/node/817>. Acceso: 2020-12-28.
- [28] Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Montevideo. El sector de las Energías Renovables en Uruguay. <https://silo.tips/download/oficina-economica-y-comercial-de-la-embajada-de-espaa-en-montevideo-otros-docume>. Acceso: 2020-12-28.
- [29] GeoServer: GeoServer is an open source server for sharing geospatial data. <http://geoserver.org/>. Acceso: 2020-07-10.
- [30] QGIS: Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto. <https://www.qgis.org/es/site/>. Acceso: 2020-07-10.
- [31] esios Sistema de Información del Operador del Sistema. Red Eléctrica de España - Mapas. <https://www.esios.ree.es/es/mapas-de-interes/mapa-instalaciones-produccion>. Acceso: 2020-12-28.

- [32] Geokettle.
- [33] Pentaho Data Integration. <https://help.hitachivantara.com/Documentation/Pentaho/8.2/Prod> 2021 – 08 – 16.
- [34] ogr2ogr. <https://gdal.org/programs/ogr2ogr.html>. Acceso: 2021-08-16.
- [35] shp2pgsql: Using the ESRI Shapefile Loader. https://postgis.net/docs/using_postgis_dbmanagement.htmlshp2pgsql_usage. Acceso : 2020 – 07 – 10.
- [36] GeoServer estilos SLD. <https://docs.geoserver.org/latest/en/user/styling/sld/index.html>. Acceso: 2020-07-10.
- [37] OGC. The OpenGIS Abstract Specification, Service Architecture. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=1221. Acceso: 2020-07-17.
- [38] OGC. Open Geospatial Standards. <https://www.ogc.org/standards/>. Acceso: 2020-07-17.
- [39] Programa de Taller de Sistemas de Información Geográficos Empresariales. https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/58132/mod_resource/content/2/ProgramaTSIGE_2018. Acceso: 2021-07-17.
- [40] The PostgreSQL Global Development Group. PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database. <https://www.postgresql.org/>. Acceso: 2020-07-10.
- [41] PostGIS Project Steering Committee (PSC). Spatial and Geographic objects for PostgreSQL. <https://postgis.net/>. Acceso: 2020-07-10.
- [42] Oracle. Oracle Java. <https://www.oracle.com/java/>. Acceso: 2020-07-10.
- [43] The Apache Software Foundation. The Apache Tomcat. <https://tomcat.apache.org/index.html>. Acceso: 2020-07-10.
- [44] OGC. Web Feature Service. <https://www.ogc.org/standards/wfs>. Acceso: 2021-07-05.

- [45] OGC. Web Coverage Service. <https://www.ogc.org/standards/wcs>. Acceso: 2021-07-05.
- [46] OGC. OpenGIS Web Map Tile Service Implementation Standard. <https://www.ogc.org/standards/wmts>. Acceso: 2021-07-05.
- [47] JBoss/Red Hat. RESTEasy. <https://resteasy.github.io/>. Acceso: 2020-07-10.
- [48] OpenJS Foundation. Node.js entorno de ejecución para JavaScript. <https://nodejs.org/es/about/>. Acceso: 2020-07-10.
- [49] Vue.js The Progressive JavaScript Framework. <https://vuejs.org/>. Acceso: 2020-07-10.
- [50] Vladimir Agafonkin. Leaflet, an open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps. <https://leafletjs.com/>. Acceso: 2020-07-10.
- [51] Fundación OpenStreetMap (OSMF). OpenStreetMap. <https://www.openstreetmap.org/about>. Acceso: 2020-07-10.
- [52] Axios, Promise based HTTP client for the browser and node.js. <https://axios-http.com/>. Acceso: 2020-07-10.
- [53] Web Ministerio de Industria, Energía y Minería del Uruguay. <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/>. Acceso: 2021-07-19.
- [54] mi nube - Antel. <https://minubeantel.uy/>. Acceso: 2021-08-16.
- [55] What is Postman? <https://www.postman.com/>. Acceso: 2021-08-16.
- [56] Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2616>. Acceso: 2021-08-16.
- [57] Trello. <https://trello.com/es>. Acceso: 2020-07-10.
- [58] Google Docs. <https://docs.google.com/>. Acceso: 2020-07-10.
- [59] Repositorio Gitlab, Facultad de Ingeniería. <http://gitlab.fing.edu.uy/>. Acceso: 2020-07-10.

- [60] Overleaf. <https://www.overleaf.com/>. Acceso: 2020-07-10.
- [61] Zoom, Videoconferencias. <https://zoom.us/>. Acceso: 2020-07-10.
- [62] OGC - Catálogo de Servicios. <https://www.ogc.org/standards/cat>. Acceso: 2020-07-10.
- [63] IDE-Uy. <https://www.gub.uy/infraestructura-datos-espaciales/>. Acceso: 2020-07-10.

8. Anexo: Conjunto de Datos Ministerio

El área de Planificación Estadística y Balance cuenta con distintas fuentes de datos. En las Tablas 1 y 2 se listan los distintos conjuntos de datos que disponen. En la tabla se observa:

- *Categoría*: Categoría al cual pertenece el dato.
- *Capa*: Capa geográfica o estadística que representa el dato que se visualiza.
- *Datos*: Cantidad de entidades, geometrías o dato estadístico que contiene la capa de información.
- *Tipo de dato*: Para los datos geométricos, se especifica el tipo de geometría (Punto, Línea, Polígono). También puede existir una capa del tipo raster o estadística. Esta última es una capa de datos, la cual está relacionada con alguna geometría agrupadora (por ejemplo departamentos).
- *Origen*: Distintos tipos de origen para esa capa de información:
 - *kmz*: Formato está compuesto principalmente por un archivo KML (Keyhole Markup Language) y archivos complementarios, empaquetados todos en formato .zip, y compatible con Google Earth o Google Maps para su visualización y modificación.
 - *cvs*: Formato plano, compatible con Excel y otros programas para su edición.
 - *shapefile*: Archivos de mapas vectoriales.
- *Migrado*: En esta columna se indica si el campo fue migrado como parte del proyecto.

Categoría	Capa	Datos	Tipo	Origen	Migrado
Energía>Eléctrica>Generadores	Centrales Biomasa	11	punto	kmz	✓
Energía>Eléctrica>Generadores	Parques eólicos	399	línea/punto/polígono	kmz	✓
Energía>Eléctrica>Generadores	Granjas Fotovoltaicas	19	punto	kmz	✓
Energía>Eléctrica>Generadores	Centrales Hidroeléctricas	4	punto	kmz	✓
Energía>Eléctrica>Generadores	Centrales Biogas	3	punto	kmz	✓
Energía>Eléctrica>Generadores	Centrales Derivados Petróleo	8	punto	kmz	✓
Energía>Eléctrica>Generadores	Centrales Gas Natural	5	punto	kmz	✓
Energía>Eléctrica>Generadores	Mircogeneradores	675	punto	cvs	✓
Energía>Eléctrica>Generadores	Paneles	727	punto	cvs	✓
Energía>Eléctrica>Generadores	Colectores	1605	punto	cvs	✓
Energía>Eléctrica>Transmisión y Distribución	Lineas 150 y 500 kv	80	línea	kmz	✓
Energía>Eléctrica>Transmisión y Distribución	Lineas 30 y 60 kv	1071	línea	kmz	✓
Energía>Eléctrica>Transmisión y Distribución	Red Eléctrica	122628	línea	shapefile	✓
Energía>Eléctrica>Datos UTE	Consumos por Tarifas	1418410	estadística	cvs	✓
Energía>Eléctrica>Datos UTE	Consumos por Sector Industria	15271	estadística	cvs	✓
Energía>Petróleo y Derivados	Prospección y Exploración	18	línea/punto/polígono	kmz	✗
Energía>Petróleo y Derivados	Transporte y distribución	26	línea/punto/polígono	kmz	✓
Energía>Petróleo y Derivados	Estaciones de Servicio	485	punto	kmz	✓
Energía>Petróleo y Derivados	Gas Licuado de Petróleo - Plantas	26	punto	kmz	✓
Energía>Petróleo y Derivados	Gas Licuado de Petróleo - Expedios	160	punto	kmz	✓
Energía> Gas Natural	Gasoductos Región	297	línea/punto/polígono	kmz	✗
Energía> Gas Natural	Gasoductos Uruguay	27	línea/punto	kmz	✗
Energía> Gas Natural	Estaciones y Distribución	79	línea/punto/polígono	kmz	✓
Energía> Gas Natural	Planta Regasificadora	7	línea/punto/polígono	kmz	✗
Energía> Biocombustibles	Plantas Biodiesel	2	punto	kmz	✓
Energía> Biocombustibles	Plantas Bioetanol	2	punto	kmz	✓
Energía>Potencia Renovable	Mapa Eólico	4	raster	kmz	✗
Energía>Potencia Renovable	Estudio Potencial Hidráulico	70	punto	kmz	✓
Energía>Potencia Renovable	Mapa Solar	14	raster	kmz	✗
Energía>Encuesta Continua Hogares	Encuesta	19	estadística	Excel	✓
Energía>Encuesta Continua Hogares	Calefacción Fuentes	9	estadística	Excel	✓
Energía>Encuesta Continua Hogares	Calefacción Equipos	5	raster	kmz	✗
Energía>Encuesta Continua Hogares	Fuentes Iluminación	4	estadística	cvs/kmz	✓
Energía>Encuesta Continua Hogares	Fuentes Cocción	6	estadística	cvs/kmz	✓
Energía>Encuesta Continua Hogares	Equipos Confort-Autos	2	estadística	cvs/kmz	✓
Energía>Encuesta Continua Hogares	Equipos Confort-Motos	2	estadística	cvs/kmz	✓
Energía>Encuesta Continua Hogares	Equipos Confort-Calentamiento Agua	2	estadística	cvs/kmz	✓
Energía>Encuesta Continua Hogares	Equipos Confort-Aire Acondicionado	2	estadística	cvs/kmz	✓

Tabla 1. Capas de información utilizadas por el área de Planificación Estadística y Balance del MIEM, con sus distintos tipos de datos, fuente y si fueron migradas como parte del proyecto. Categoría Energía.

Categoría	Capa	Datos	Tipo	Origen	Migrado
Ordenamiento Territorial>Uruguay	Departamentos	19	polígono/punto	kmz	✗
Ordenamiento Territorial>Uruguay	Capitales	19	punto	kmz	✗
Ordenamiento Territorial>Uruguay	Municipios MVTMA	89	punto/polígono	kmz	✗
Ordenamiento Territorial>Uruguay	Localidades INE	615	punto	kmz	✗
Ordenamiento Territorial>Uruguay	Zona Metropolitana	1	línea	kmz	✗
Ordenamiento Territorial>Región	Países Región	5	polígono	kmz	✗
Transporte>Aéreo	Aeropuertos Internacionales	8	punto	kmz	✗
Transporte>Aéreo	Otros Aeropuertos	8	punto	kmz	✗
Transporte>Aéreo	Aeródromos	9	punto	kmz	✗
Transporte>Aéreo	Pista de Emergencia	1	punto	kmz	✗
Transporte>Marítimo	Puertos de Ultramar	6	punto	kmz	✗
Transporte>Marítimo	Puerto Fluvial	6	punto	kmz	✗
Transporte>Marítimo	Puertos Deportivos	8	punto	kmz	✗
Transporte>Marítimo	Otros	3	punto	kmz	✗
Transporte>Ferroviario	Líneas	23	línea	kmz	✗
Transporte>Ferroviario	Estaciones	119	punto	kmz	✗
Transporte>Carretero	Corredor internaciona	10	línea	kmz	✗
Transporte>Carretero	Red Primaria	13	línea	kmz	✗
Transporte>Carretero	Red Secundaria	54	línea	kmz	✗
Transporte>Carretero	Autorizados 25,5 toneladas	19	línea	kmz	✗
Ambientales>Sistema Nacional Áreas	Áreas Protegidas	54	punto/polígono	kmz	✗
Ambientales>Sistema Nacional Áreas	Áreas Prioritarias	22	punto/polígono	kmz	✗
Ambientales>Sistema Nacional Áreas	Biozonas	301	punto/polígono	kmz	✗
Ambientales>Hidrografía	Cuencas	11	raster/punto	kmz	✗
Ambientales>Hidrografía	Ríos	1	raster	kmz	✗
Ambientales>Hidrografía	Cuerpos de Agua	1	raster	kmz	✗
Ambientales>Climáticos	Temp. Máxima	1	raster	kmz	✗
Ambientales>Climáticos	Temp. Media	1	raster	kmz	✗
Ambientales>Climáticos	Temp. Mínima	1	raster	kmz	✗
Ambientales>Climáticos	Precipitaciones	1	raster	kmz	✗
Ambientales>Climáticos	Humedad Relativa	1	raster	kmz	✗
Ambientales>Climáticos	Heliofanía Real	1	raster	kmz	✗
Productivos>Cobertura Forestal	Cartografía 2012	38	raster	kmz	✗
Productivos>Cobertura Forestal	Cartografía 2004	1	raster	kmz	✗
Productivos>Catastro Minero	Catastro Minero	6	raster	kmz	✗
Productivos>Agropecuarios	Lechero	1	raster	kmz	✗
Productivos>Agropecuarios	Agrícola	1	raster	kmz	✗
Productivos>Agropecuarios	Arroz	1	raster	kmz	✗
Productivos>Agropecuarios	Forestal	1	raster	kmz	✗
Productivos>Agropecuarios	Ganadero	1	raster	kmz	✗
Productivos>Zona Franca	Zona Franca	22	punto/polígono	kmz	✗
Productivos>Industrias	Industrias por Sector	103	punto	kmz	✗

Tabla 2. Capas de información utilizadas por el área de Planificación Estadística y Balance del MIEM, con sus distintos tipos de datos, fuente y si fueron migradas como parte del proyecto. Otras categorías.