



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**Desarrollo de una Herramienta de Analítica para el Seguimiento de Proyectos  
de Expansión del Sistema Interconectado Nacional Conforme al Acuerdo CNO**

**696**

Manuel Ramírez Gil

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Energético

Asesor Interno

Álvaro Jaramillo Duque, Ing. Electricista, PhD

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Energética

Carmen de Viboral

2024

---

<b>Cita</b>	Ramírez Gil, 2024 [1]
<b>Referencia</b>	[1] Ramírez Gil, M. “ Desarrollo de una Herramienta de Analítica para el Seguimiento de Proyectos de Expansión del Sistema Interconectado Nacional Conforme al Acuerdo CNO 696”, trabajo de grado, Ingeniería Energética, Universidad de Antioquia, Carmen de Viboral, 2024.
Estilo IEEE (2020)	

---



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda.

**Decano/Director** Julio César Saldarriaga Molina.

**Jefe departamento:** Noé Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

A todos quienes me han dado tanto sin esperar nada a cambio.

## **Agradecimientos**

Quisiera expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que formaron parte del proceso de práctica. Comienzo por el equipo de parámetros y proyectos, junto con todos sus integrantes:

Emma, Ángela, Johana, María Elisa, Alejandro, Cristian y Allison; cuya guía y, sobre todo, su calidez humana, fueron pilares fundamentales en la realización de todas las actividades y logros obtenidos. A mi asesor de prácticas y profesor, Álvaro Jaramillo, por el conocimiento fruto de su actividad docente, y por su tutoría, disposición y acompañamiento durante la práctica. También quiero expresar mi gratitud hacia XM y todo su personal, una empresa con la que he mantenido una estrecha relación desde hace varios años y con la cual estoy eternamente agradecido por permitirme no solo realizar mis prácticas, sino también, acompañarme durante un largo trecho de mi vida académica. Agradezco a mis compañeros, en especial a Juan José, Juan Pablo y Jonatan, por su compañía, apoyo y por todos los recuerdos y aprendizajes que cosechamos juntos. Finalmente, expreso mi gratitud a todos los docentes que me acompañaron en mi proceso formativo y que, en su medida y posibilidades, aportaron para hacerme el profesional que soy hoy, y que, siguiendo sus múltiples ejemplos, seguiré esforzándome por continuar aprendiendo.

## TABLA DE CONTENIDO

. RESUMEN . . . . .	8
. ABSTRACT . . . . .	9
I. INTRODUCCIÓN . . . . .	10
II. OBJETIVOS . . . . .	13
A. Objetivo general . . . . .	13
B. Objetivos específicos . . . . .	13
III. MARCO TEÓRICO . . . . .	14
A. Acuerdo CNO 696. . . . .	14
B. Proyecto de expansión . . . . .	14
C. Proceso ETL . . . . .	15
D. Analítica de datos . . . . .	16
IV. METODOLOGÍA. . . . .	17
A. Identificación de las fuentes de datos y los principales obstáculos . . . . .	17
B. Adecuación de la información mediante el uso de Python . . . . .	18
1) Extracción de los datos: . . . . .	18
2) Limpieza y adecuación de los datos: . . . . .	18
3) Carga de los datos: . . . . .	19
C. Creación de los objetos visuales . . . . .	19
D. Integración con Power BI. . . . .	20
E. Consulta e integración de información en custodia del CND . . . . .	20
V. RESULTADOS . . . . .	22
A. Proyectos de transmisión de los STR y del STN . . . . .	22
B. Proyectos de generación . . . . .	28
C. Actividades complementarias . . . . .	30
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	32
. REFERENCIAS . . . . .	34

## LISTA DE TABLAS

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1	Metodología del radar de seguimiento de proyectos. . . . .	15
Fig. 2	Página principal del reporte relacionada con los proyectos de los STR .	23
Fig. 3	Página del reporte relacionada con los proyectos de los STR y análisis suplementarios extraídos de los aplicativos del CND . . . . .	23
Fig. 4	Página del reporte con información y análisis adicionales relacionada con los proyectos de los STR . . . . .	24
Fig. 5	Página del reporte con análisis de cambios de las fechas de puesta en operación esperadas de los proyectos de los STR . . . . .	24
Fig. 6	Página principal del reporte relacionada con los proyectos del STN . . .	26
Fig. 7	Página del reporte relacionada con los proyectos del STN y análisis su- plementarios extraídos de los aplicativos del CND . . . . .	27
Fig. 8	Página del reporte con análisis de cambios de las fechas de puesta en operación esperadas de los proyectos del STN . . . . .	27
Fig. 9	Página principal del reporte relacionada con los proyectos de generación	28
Fig. 10	Proyectos de generación que presentaron cambios en su porcentaje de cumplimiento de la FPO . . . . .	29
Fig. 11	Página del reporte con análisis de cambios de las fechas de puesta en operación esperadas de los proyectos de generación . . . . .	29
Fig. 12	Actividades de divulgación del proyecto realizado . . . . .	31

## Siglas, acrónimos y abreviaturas

<b>PhD</b>	Philosophiae Doctor
<b>Ing</b>	Ingeniero
<b>CND</b>	Centro Nacional de Despacho
<b>UPME</b>	Unidad de Planeación Minero Energética
<b>SIN</b>	Sistema Interconectado Nacional
<b>CNO</b>	Consejo Nacional de Operación
<b>ETL</b>	Extract, Transform and Load
<b>HTTP</b>	HyperText Transfer Procotol
<b>RegEx</b>	Regular Expressions
<b>STN</b>	Sistema de Transmisión Nacional
<b>STR</b>	Sistemas de Transmisión Regionales
<b>OR</b>	Operador de Red
<b>MDC</b>	Modelo de Datos Común
<b>FPO</b>	Fecha de Puesta en Operación
<b>DNA</b>	Demanda no Atendida

---

## RESUMEN

La planificación de la expansión de los sistemas eléctricos es crucial para garantizar la resiliencia y la operación segura y confiable de estos, así como la entrega ininterrumpida de energía eléctrica a los usuarios con criterios de eficiencia técnica y económica. Sin embargo, los proyectos destinados a fortalecer el Sistema Interconectado Nacional (SIN) enfrentan retrasos que afectan sus fechas de puesta en operación, amenazando la cobertura de la demanda e incluso la integridad y operación segura del sistema. En respuesta a esta problemática, el Consejo Nacional de Operación (CNO) promulgó el Acuerdo CNO 696, buscando implementar una metodología para dar seguimiento a los proyectos identificados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) como aquellos que se espera, permitan llevar a cabo la expansión del sistema eléctrico Colombiano. La implementación de esta metodología está a cargo del Centro Nacional de Despacho (CND), quién hace uso de los informes de avance de proyectos remitidos por la UPME y el CNO. Actualmente, se evidencian oportunidades de mejora dados los retos que conlleva esta implementación en términos de alta carga laboral y manualidad de los procesos. Este proyecto propone desarrollar una herramienta, utilizando el lenguaje de programación Python y la aplicación Power BI, para automatizar flujos de trabajo y tareas asociadas a la adopción de la metodología descrita en el acuerdo, complementándola con análisis valiosos acorde al criterio del CND. La herramienta, construida en Power BI, centralizará la adquisición, limpieza de datos, generación y publicación de informes. Además, se integrará la información remitida por concepto del acuerdo con los datos que el CND tenga en su custodia para proponer análisis más detallados.

***Palabras clave* — Proyectos de expansión, Python, planeación energética, generación y transmisión eléctrica, sistema interconectado nacional.**



---

## ABSTRACT

The planning of the expansion of electrical systems is crucial to ensure the resilience and safe operation of these systems, as well as the uninterrupted delivery of electrical power to users with criteria of technical and economic efficiency. However, projects aimed at strengthening the National Interconnected System (SIN, by its acronym in Spanish) face delays that impact their operational start dates, threatening demand coverage and even the integrity and safe operation of the system. In response to this issue, the National Operation Council (CNO, by its acronym in Spanish) enacted CNO Agreement 696, seeking to implement a methodology to perform tracking of the projects identified by the Mining-Energy Planning Unit (UPME, by its acronym in Spanish) as those expected to enable the expansion of the Colombian electrical system. The implementation of this methodology is the responsibility of the National Dispatch Center (CND, by its acronym in Spanish), which relies on progress reports from projects submitted by UPME and CNO. Currently, there are opportunities for improvement given the challenges associated with this implementation in terms of high workloads and manual processes. This project proposes the development of a tool, using the Python programming language and Power BI application, to automate workflows and tasks associated with the adoption of the methodology described in the agreement. The tool will complement the methodology with valuable analyses according to the CND's criteria. Built in Power BI, the tool will centralize the acquisition, data cleaning, report generation, and publication processes. Additionally, it will integrate information submitted under the agreement with the data held by the CND to propose more detailed analyses.

***Keywords*** — Expansion projects, Python, energy planning, electrical generation and transmission, National Interconnected System

---

## I. INTRODUCCIÓN

El sector eléctrico colombiano se compone de diversos agentes que cumplen roles específicos en la cadena de suministro de la energía eléctrica; servicio de alta importancia para el bienestar colectivo. Dichos agentes se componen de los generadores, que son aquellos que transforman la energía de diversas fuentes en energía eléctrica que los usuarios finales usan; los transmisores y distribuidores, que son quienes se encargan de transportar la energía eléctrica a lo largo y ancho del país en diferentes niveles de tensión; y los comercializadores, que se encargan de mediar por los usuarios finales para posibilitar el uso del fluido eléctrico en sus instalaciones. Estos agentes cuentan con activos físicos como plantas de generación, redes de transmisión, entre otros, que son elementos indispensables para garantizar el suministro eléctrico de quien lo demanda. Dentro de la estructura del sector, existen también entes que velan por su óptima operatividad y sobrellevan la responsabilidad de articular y direccionar las acciones que buscan aumentar la confiabilidad y eficiencia en la operación del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Tal es el caso del Consejo Nacional de Operación (CNO), organismo encargado de establecer los lineamientos técnicos y ejecutar el reglamento operacional en el país. La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) es otra entidad de gran importancia en el sector eléctrico colombiano, esta tiene como función establecer los lineamientos y planes a corto, mediano y largo plazo en lo referente a la expansión y desarrollo del sector minero energético en el país. El Centro Nacional de Despacho (CND), es el ente encargado de articular todos los agentes que hacen parte del SIN y vela por realizar su operación con criterios de seguridad, confiabilidad y eficiencia económica.

Para un sistema eléctrico operacionalmente robusto y económicamente eficiente, es necesario que los activos, tanto de generación como de transmisión de la energía eléctrica, estén correctamente: dimensionados, dispuestos en la geografía y disponibles para su operación en el momento que se les requiera. Para lograr este objetivo, la UPME realiza planes de expansión a nivel nacional, donde se evalúa la necesidad de incorporar nuevos activos en el SIN con el objetivo de satisfacer las necesidades futuras relativas al suministro eléctrico en las diferentes regiones del país. No obstante, factores relacionados con los tramites re-

---

queridos para la entrada en operación de los proyectos, así como situaciones generadas por dinámicas sociales y de orden público, configuran potenciales retrasos en el desarrollo de los proyectos. Lo anteriormente mencionado pone en riesgo no sólo la facultad del sistema para atender la demanda en las regiones que dependen de la culminación de los proyectos, sino, la confiabilidad misma del SIN y la operación segura de este [1, 2].

Como respuesta a la problemática que emana de los atrasos de los proyectos de transmisión y generación en el país, el CNO en uso de sus facultades, emitió el acuerdo 696 de 2014: “Metodología para el seguimiento de proyectos de generación del Sistema de Transmisión Nacional y de los Sistemas de Transmisión Regionales” [3]. Este acuerdo tiene como objetivo dotar al CNO, a la UPME, a los agentes, al CND y a todo el tejido sectorial, de una herramienta que permita emitir señales oportunas derivadas del atraso de los proyectos, así como su impacto sobre la operación del SIN. En consonancia, debe posibilitar la realización de análisis relativos al estado de avance de los proyectos, para qué, en uso de las atribuciones distintivas de cada organismo, se ejecuten las medidas oportunas que posibiliten un desarrollo eficiente e ininterrumpido de los planes de expansión del SIN.

La aplicación de la metodología descrita en el acuerdo está a cargo del CND, quién cuatrimestralmente recibe informes cuyo contenido es usado como insumo para su elaboración. En la actualidad, la aplicación de la metodología propuesta por el acuerdo se encuentra vigente, y su realización, por parte de la dirección de planeación y operación del CND, requiere de una inversión de tiempo y capital humano que genera periodos de sobre carga laboral. Esta circunstancia deriva de la meticulosa labor manual producto de la metodología que actualmente la dirección usa para la creación de la herramienta.

La presente propuesta pretende abarcar los principales aspectos que justifican y guían metodológicamente el proyecto que se llevó a cabo durante la pasantía del semestre de industria. El proyecto antes mencionado tiene como objetivo la creación de una herramienta que permita realizar análisis de valor bajo el panorama del sector eléctrico actual. Así como establecer un flujo de trabajo altamente automatizado que permita solventar la situación ya descrita en lo referente al desarrollo de la metodología del radar de avance de proyectos por parte del CND.

Para la ejecución del proyecto se usará el lenguaje de programación Python para la fase de ETL (Extract, Transform, Load) de los datos. Así como para la creación de diferentes objetos visuales, que harán parte fundamental de los análisis y del cumplimiento de la metodología descrita en el acuerdo. Para la creación de los reportes, que deberán ser expuestos ante el CNO y los demás entes del sector, se hará uso de la herramienta Power BI de la suite de Microsoft dada su gran versatilidad y extenso uso en la organización.

Adicionalmente, se realizará la integración entre la información recibida por el CND para la construcción del radar, e información complementaria o de mayor vigencia, que está bajo la custodia del CND en sus aplicativos. Para esto, se prevé la implementación de consultas automatizadas a la REST API <sup>1</sup> del aplicativo de información centralizada del CND, con las cuales, se extraerá información adicional de los proyectos que se presentará en los informes correspondientes relacionados al acuerdo.

---

<sup>1</sup>Las API REST son el mecanismo predominante de integración de aplicaciones a través de internet. Estas permiten transferir información entre sistemas a través del protocolo de hipertexto (HTTP) [4]

## II. OBJETIVOS

### *A. Objetivo general*

Desarrollar una herramienta que habilite al CND en la realización de análisis referentes al avance de proyectos de expansión del Sistema Interconectado Nacional conforme al acuerdo 696 del CNO. La herramienta, desarrollada utilizando Python y Power BI, tiene como objetivo disminuir la carga de trabajo manual actualmente requerida para llevar a cabo estos análisis desarrollando automatismos.

### *B. Objetivos específicos*

- Diseñar y desarrollar una estructura automatizada de extracción, transformación y carga (Extract, Transform, Load - ETL) de datos utilizando Python, para recopilar y procesar la información relacionada con el avance de los proyectos identificados por la UPME, la cual es remitida al CND por parte de la UPME y el CNO.
- Diseñar y programar un script que haga uso de los datos producto del proceso de ETL y genere objetos visuales personalizados que se ajusten a los requerimientos metodológicos dispuestos por el CNO en su acuerdo 696.
- Implementar una aplicación fluida y amigable en Power BI, que permita la realización de reportes y la creación de análisis con base en los datos producto del proceso de ETL y los objetos visuales personalizados ya desarrollados.
- Integrar información complementaria y actualizada, que se encuentra bajo la custodia del CND en su aplicativo de datos común, para los informes y análisis generados por la herramienta.

### III. MARCO TEÓRICO

#### *A. Acuerdo CNO 696*

El acuerdo CNO 696 expedido por el Consejo Nacional de Operación establece una metodología de seguimiento de los proyectos de expansión del SIN. Los proyectos a los cuales les realiza seguimiento son aquellos definidos e identificados por la UPME como solución a las necesidades de expansión del STN (Sistema de Transmisión nacional) y los STR (Sistemas de Transmisión Regionales). La metodología busca monitorear el avance de los proyectos mediante una clasificación según su: 1) etapa, que indica el estado actual del proyecto respecto al estado final, el cual sería su entrada en operación; 2) nivel, que indica qué tan probable es que un proyecto no pueda cumplir con su fecha de puesta en operación; y 3) impacto operativo, que indica la influencia de la entrada en operación del proyecto [3]. Cuando a un proyecto se le asigna, en un momento determinado, una etapa, un nivel y un impacto operativo, este puede ubicarse en un radar de seguimiento. Su ubicación dentro de este radar se determina por las características mencionadas. Los cuadrantes que dividen el radar representan la etapa del proyecto, la distancia radial respecto al centro del radar representa el nivel y su color determina su impacto operativo. La figura 1 muestra gráficamente lo antes descrito. El CND es quien tiene la responsabilidad de ejecutar la metodología relatada en el acuerdo, para que luego de ser desarrollada, se expongan los resultados de su implementación en forma de reportes ante los entes correspondientes.

#### *B. Proyecto de expansión*

Proyecto incluido en los Planes de Expansión del SIN elaborados por la UPME, en este plan se identifican los proyectos requeridos para atender la demanda y mejorar la confiabilidad del sistema [3, 5]. Se consideran también alternativas de expansión aquellos proyectos que tienen concepto favorable de conexión por parte de la UPME [6]. En relación a los proyectos de expansión de transmisión en los STR, se le conoce al proyecto por convocatoria o por selección, a aquellos proyectos que no son desarrollados por el OR (Operador de Red) asociado

## Objetivo del Radar

Identificar oportunamente posibles atrasos en la definición de obras y en el desarrollo de proyectos, así como el impacto de los mismos con respecto a la fecha de puesta en servicio definida en el plan de expansión, concepto UPME o en la convocatoria.

## Metodología

Los proyectos se clasifican por etapas, que indican cuán cerca se encuentra un proyecto específico de entrar en operación comercial.

Se deben monitorear:

- El **nivel** de ejecución de cada proyecto, que indica cómo se encuentra respecto al cumplimiento de su FPO.
- El **impacto** por la entrada o atraso del proyecto.

### Impacto operativo

- ▲ - Aumento de confiabilidad
- ▲ - Disminución o eliminación de restricciones operativas
- ▲ - Disminución o eliminación de restricciones eléctricas
- ▲ - Disminución DNA

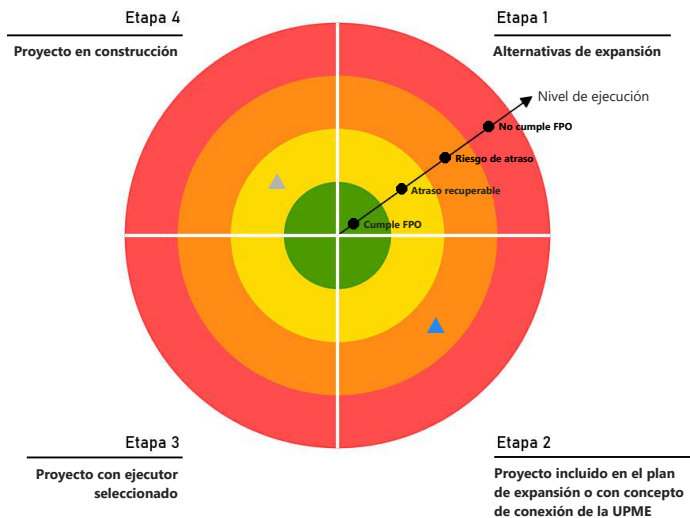


Fig. 1. Metodología del radar de seguimiento de proyectos.

al sistema de transmisión regional, sino por una persona jurídica elegida mediante un proceso de selección [7].

### C. Proceso ETL

El acrónimo ETL, del inglés: extract, transform and load, que por su traducción literal versa extracción, transformación y carga. Los procesos ETL son un compendio de técnicas, etapas y modificaciones que se realizan a los datos para obtener información de alta calidad, homogeneidad y valor. En la fase de extracción se realiza la ingestión de datos crudos de una o diversas fuentes. En la fase de transformación se aplican diversos métodos de limpieza, estandarización de formato, validación de tipos de datos, entre otros. Finalmente, la fase de carga se ocupa de llevar los datos preparados al aplicativo, datawarehouse o formato de archivo que sea necesario para su posterior utilización en procesos subsecuentes [8].

#### *D. Analítica de datos*

La analítica de datos se refiere a los métodos, formas o técnicas usadas por las organizaciones o usuarios para gestionar sus datos y respaldar sus decisiones con base en estos. La analítica de datos también es un catalizador para la transformación digital, ya que permite tomar decisiones más rápidas, precisas y relevantes, además de proporcionar herramientas que agilizan los procesos desarrollados por las empresas en diversas áreas que dependen del cálculo de indicadores, estadísticas o tareas repetitivas [9, 10].



---

## IV. METODOLOGÍA

El presente proyecto consistió de 5 etapas principales de desarrollo, cada una de las cuales se abordó de manera secuencial. No obstante, durante la ejecución del proyecto, se llevaron a cabo ciclos de revisión de las etapas anteriores con el fin de detectar posibles mejoras o cambios que surgen, producto de la identificación de necesidades en fases posteriores. Esto condujo a modificaciones en los productos desarrollados a lo largo del proyecto para adaptarse a los requerimientos emergentes.

Las principales etapas del proyecto son brevemente descritas a continuación.

### *A. Identificación de las fuentes de datos y los principales obstáculos*

La fuente de información de la cual hace uso la herramienta consta principalmente de informes en formato .xlsx (Excel) remitidos por la UPME y el CNO con una periodicidad cuatrimestral. La información actualizada respecto al avance de proyectos de generación es enviada por el CNO, por otra parte, la UPME, realiza el envío de la información referente a los proyectos de transmisión. Ambas fuentes de información poseen formatos diferentes. Adicionalmente, se identificó que estos tienen ciertas incongruencias que dificultan la extracción de la información contenida en los archivos. Los principales obstáculos encontrados a la hora de implementar el proceso de extracción se relacionan con: 1) algunas columnas de los archivos de Excel, que son de gran relevancia, cambiaban de posición entre informes, lo que impide que se puedan extraer con condiciones estáticas de ubicación dentro de los informes; 2) los proyectos, tanto de generación como de transmisión, no cuentan con un identificador único, por ende, no se cuenta con otro insumo más que sus nombres para realizar comparaciones entre informes de diferentes meses; y 3) las diferentes jerarquías de las filas de encabezado cambian entre informes o no son adicionadas.

Tras la identificación de las fuentes de información, su formato y estructura usual, así como los principales retos que se observaron, que serían relevantes a la hora de plantear el proceso de extracción y análisis de los datos, se propuso la forma en que se llevaría a cabo el proceso de ETL, así como el lenguaje de programación a utilizar. Dicho lenguaje fue Python,

su elección se debió a la alta versatilidad de esta herramienta, su amplio uso en la compañía para diversos procesos y su posibilidad de integración nativa en Power BI.

### *B. Adecuación de la información mediante el uso de Python*

Dado que se cuenta con dos fuentes de datos cuya información debe ser extraída, se crean dos códigos de Python, que teniendo en cuenta las particularidades de cada fuente de datos, permiten realizar el proceso de adquisición y preparación de la información para ser utilizada en procesos posteriores. Como parte de la programación de los mencionados códigos, fue esencial proponer soluciones que contemplaran los problemas mencionados en la sección A. En adición, se propendió que como característica primordial, los procesos realizados por los códigos requirieran la menor intervención por parte de los usuarios de la herramienta, buscando una mayor automatización.

Las acciones realizadas por los códigos constan de tres fases.

1) *Extracción de los datos:* En primera instancia se realiza una lectura de la información cruda, o información bruta. Para esto se proporciona la ruta y nombre del archivo que contiene los datos. Con esta información, el código realiza una extracción del contenido basada en el nombre del archivo, ya que en este se encuentra el mes y año correspondiente al informe analizado. Mediante este filtrado por el mes y año del informe, se logran extraer las columnas específicas necesarias para la realización de los posteriores análisis, sin importar la ubicación de estas columnas en el documento. Tras la ejecución de otras funciones de adecuación más detalladas que no se explicarán en profundidad, se logra contrarrestar otros problemas de lectura de la información, logrando una fase de extracción final que entrega un tipo de estructura de datos *DataFrame* propio del paquete Pandas de Python.

2) *Limpeza y adecuación de los datos:* Tras la fase previa, se cuenta ahora con un conjunto de datos que contempla únicamente la información considerada de valor para los procesos futuros. No obstante, se debe realizar una homogeneización de los datos obtenidos, ya que, para cálculos y análisis posteriores, es de vital importancia contar con tipos de datos y

---

formatos uniformes, que sean compatibles con las funciones de transformación del paquete Pandas. La mencionada labor de limpieza abarca también procesos de minería de información en campos de texto libre. Particularmente, se refiere al análisis de campos de datos que en los informes originales constan de textos usualmente extensos que contienen párrafos explicativos del estado actual de los proyectos. De estos textos, es esencial extraer fragmentos que contengan información de alto valor en los análisis, tal como el porcentaje declarado de avance, la fecha posible de entrada en operación, entre otros. El hecho de que estos datos se encuentren embebidos en párrafos de texto y que puedan tener formatos irregulares, dificultan su extracción. Para esto, se propuso el uso de patrones RegEx<sup>2</sup>, que facilitarían la identificación de la información deseada e hicieran posible su extracción.

3) *Carga de los datos*: La fase final ejecutada por los códigos permite disponer de la información ya adecuada en el formato que se requiera. Para el caso de la herramienta desarrollada, la aplicación final que hará consumo de la información será Power BI. En ese sentido, se establece el formato de entrega de esta, que por la compatibilidad que existe entre Python y Power BI, será la misma estructura *DataFrame* hasta ahora usada.

### *C. Creación de los objetos visuales*

La adopción de la metodología descrita en el acuerdo CNO 696 implica la creación de objetos visuales que habilitan la supervisión de proyectos de expansión, tal como lo indica el objetivo principal del acuerdo. Tales objetos conforman el concepto de radar de seguimiento, como fue presentado y explicado en la sección A y la figura 1. Mediante el uso del paquete Matplotlib, se plasmó de forma visual en un radar tal como el descrito en la metodología, la información actualizada de los proyectos contenidos en los informes recibidos. Este proceso se realiza de forma automática y hace uso del producto de los procesos descritos en la sección anterior. Adicionalmente, se creó un segundo tipo de objeto gráfico. Este posibilita el seguimiento visual de los cambios de las fechas posibles de puesta en operación de los proyectos,

---

<sup>2</sup>Se refiere a expresiones regulares, o regular expressions por su traducción del inglés. Son usadas en la minería de datos para crear patrones de búsqueda en cadenas de texto [11].

permitiendo así, distinguir aquellos que presentan dificultades en su ejecución y realizar una supervisión más rigurosa de estos.

#### *D. Integración con Power BI*

Con la finalidad de generar los informes requeridos por el acuerdo, y para ser presentados ante el CNO y demás entidades que demanden la divulgación de los resultados y análisis derivados de estos informes, se hizo uso de la aplicación Power BI de la suite de Microsoft. Mediante el uso de la función Power Query<sup>3</sup> se programaron las consultas de información que entregan los *DataFrames* producto de la adecuación de los datos descrita en la sección B. El uso de esta función permite la ejecución de códigos de Python, por lo cual, la herramienta desarrollada en Power BI contiene, de forma nativa, tanto la fase de adecuación de los datos, así como la creación de los reportes. Los contenidos del reporte generado por la herramienta se crearon con base en la metodología descrita en el acuerdo CNO 696, adicionando algunos análisis complementarios que se consideraron de gran valor. Una característica principal del modelo de datos construido en Power BI, es que se realiza la comparación entre los informes actuales analizados y los inmediatamente anteriores, permitiendo así la realización de comparaciones en lo referente al cambio de fechas de entrada en operación de proyectos, cambio en etapas y niveles de los proyectos, porcentajes de avance, entre otros.

#### *E. Consulta e integración de información en custodia del CND*

Como etapa final del proyecto se realizó la integración de una tercera fuente de datos. Esta permitió complementar la información recibida de los proyectos fruto de la recepción de los archivos de Excel, con información que el CND custodia en sus aplicativos de datos. Para esto fue necesario, en primera instancia, crear un medio para relacionar los nombres de los proyectos recibidos en los archivos de Excel, con los códigos únicos usados para la identificación de los proyectos en el aplicativo usado del CND. Para tal fin se construyó un archivo de Excel que contiene las relaciones entre las variables antes mencionadas. Dado que

---

<sup>3</sup>Herramienta de Power BI que permite realizar consultas de información de diferentes fuentes, entre ellas, códigos de Python.

la creación de estas relaciones en el Excel debe hacerse para cada nuevo proyecto que ingresa a los informes, un código de Python fue desarrollado con el objetivo de poder verificar, de manera automática, si el Excel que contiene las relaciones, cuenta con todos los proyectos a los cuales se les hace seguimiento acorde al informe más reciente recibido. Si es el caso de que hay nuevos proyectos que no se encuentran en el Excel de relaciones, el código los añade e indica que su respectivo código único de identificación debe ser añadido. Debido a que los nombres de los proyectos presentes en los informes recibidos difieren con los nombres que se encuentran en el aplicativo de datos, los códigos de los proyectos nuevos deben ser añadidos de forma manual. Una vez se tenga actualizado el archivo de relaciones, este es utilizado como insumo en el Power BI, desde donde un código de Python ejecutado desde Power Query, permite realizar consultas HTTP a la REST API de la aplicación de datos del CND, obteniendo de allí información complementaria de los proyectos que es usada en los análisis presentados en el reporte de Power BI.

---

## V. RESULTADOS

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos tras la culminación del semestre de industria y su proyecto asociado. Durante la exposición de los mencionados resultados, se notará que la información expuesta en los reportes generados por la herramienta desarrollada son ficticios. Se procede a presentar los resultados de esta forma, dado que es de interés del presente proyecto la creación, funcionalidades y características de la herramienta creada, más no la información explícita que se presenta mediante esta. De igual manera, se desea evitar cualquier tipo de divulgación de información sensible contenida en los informes de avance de proyectos. Mencionado lo anterior, es de recalcar que el presentar información genérica no afecta el desempeño o capacidades de la herramienta, por lo que el producto a exponer es representativo del funcionamiento real de la misma. Dentro del reporte generado pueden distinguirse 5 tipos de proyectos, proyectos de transmisión en los STR, en el STN, en los STR mediante modalidad de convocatoria y ampliaciones del STR, así como proyectos de generación. De estos 5 tipos, se expondrán las secciones del reporte que contienen los análisis de 3 de ellos, transmisión en los STR, transmisión en el STN y generación, dado que son los de mayor relevancia. No obstante, la misma filosofía y tipo de análisis que de estos se mostrará, aplica para los demás tipos de proyectos.

### *A. Proyectos de transmisión de los STR y del STN*

La figura 2 presenta lo referente a los proyectos de transmisión en los STR. En la parte superior derecha puede distinguirse el radar de seguimiento de proyectos, el cual es creado con la información recibida en los informes y en concordancia con lo explicado en la sección A. Mediante este apartado, pueden realizarse inferencias rápidas en lo asociado a la distribución de proyectos entre cada una de las etapas, niveles e impactos operativos. En la parte inferior derecha, se encuentra una tabla dinámica que muestra todos los proyectos relacionados a los STR del informe analizado, con algunas de sus respectivas características actualizadas. Mediante esta, se pueden realizar búsquedas y filtros que se aplican a los objetos visuales que se encuentran en esta página del reporte. Por ejemplo, al seleccionar una serie

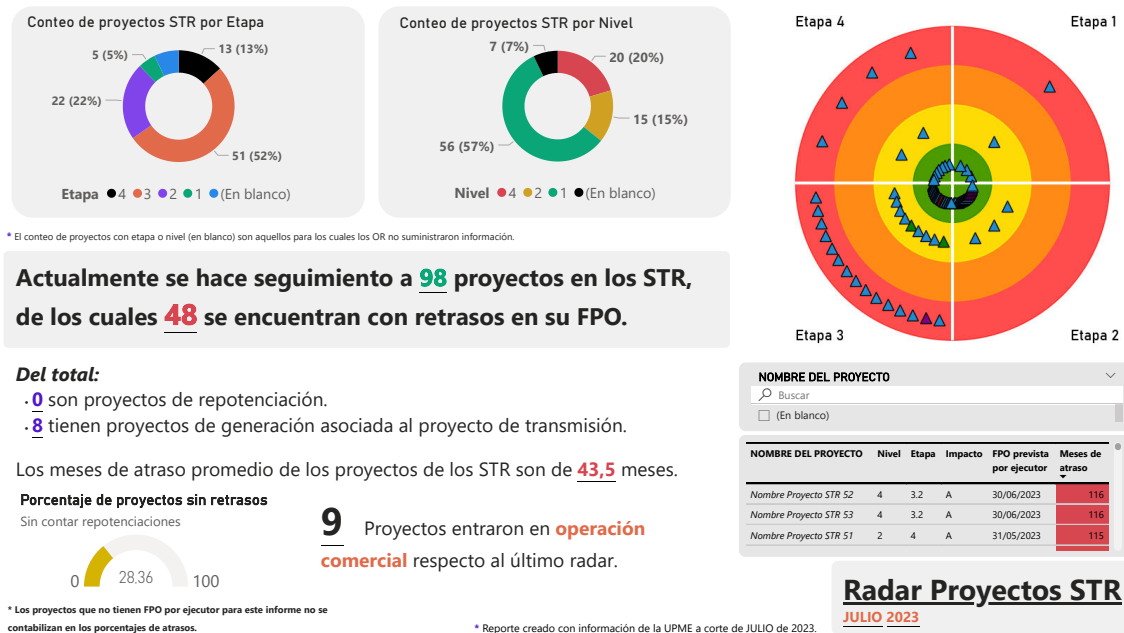


Fig. 2. Página principal del reporte relacionada con los proyectos de los STR

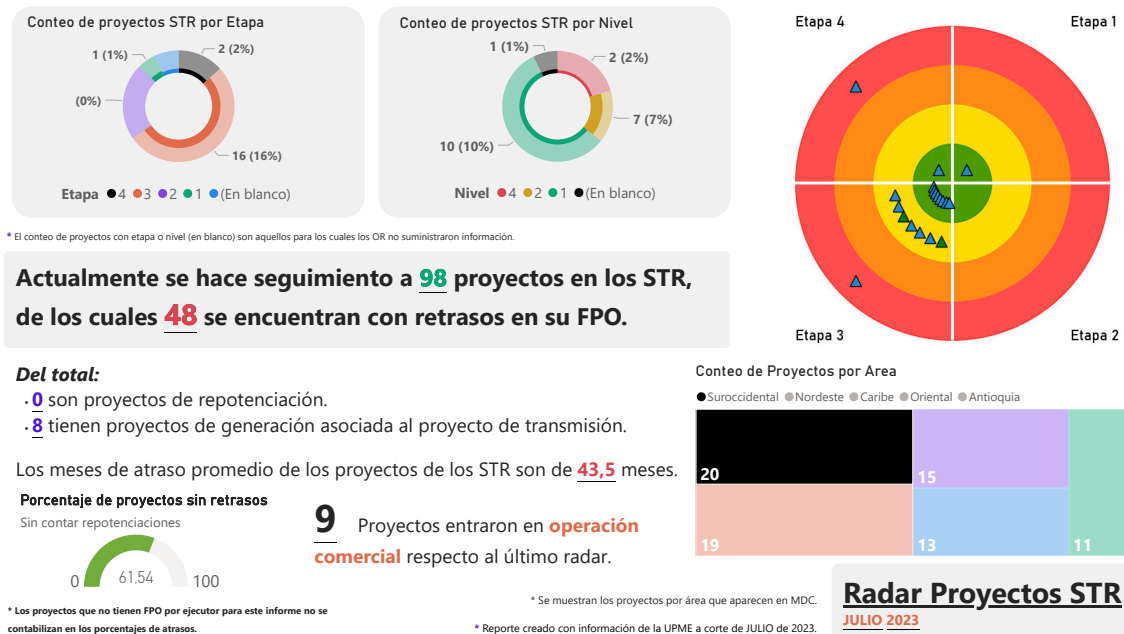


Fig. 3. Página del reporte relacionada con los proyectos de los STR y análisis suplementarios extraídos de los aplicativos del CND

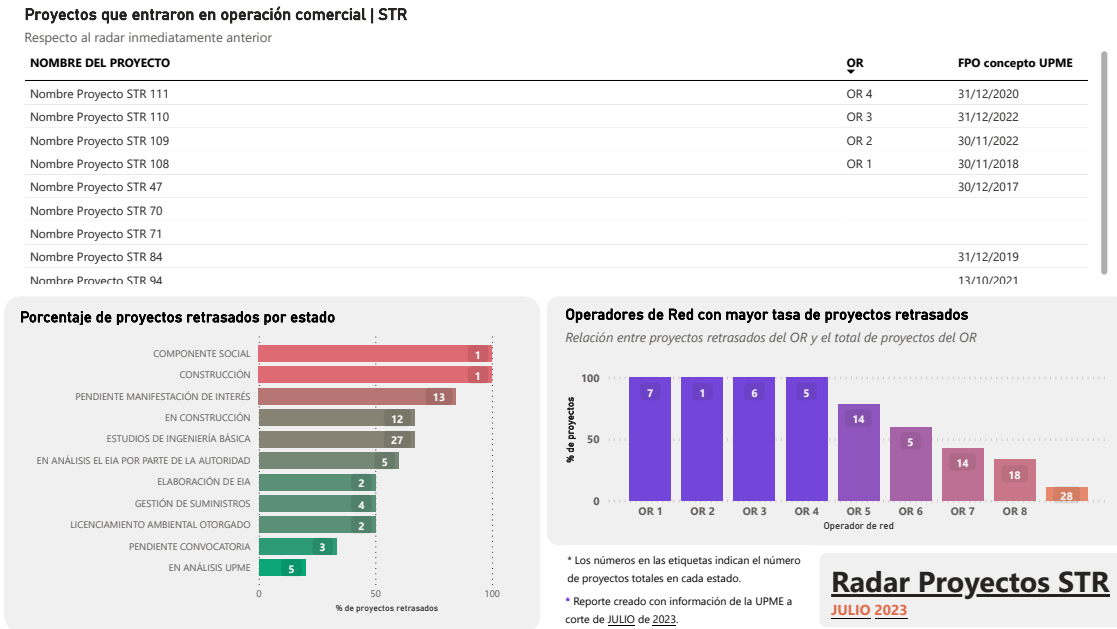


Fig. 4. Página del reporte con información y análisis adicionales relacionada con los proyectos de los STR

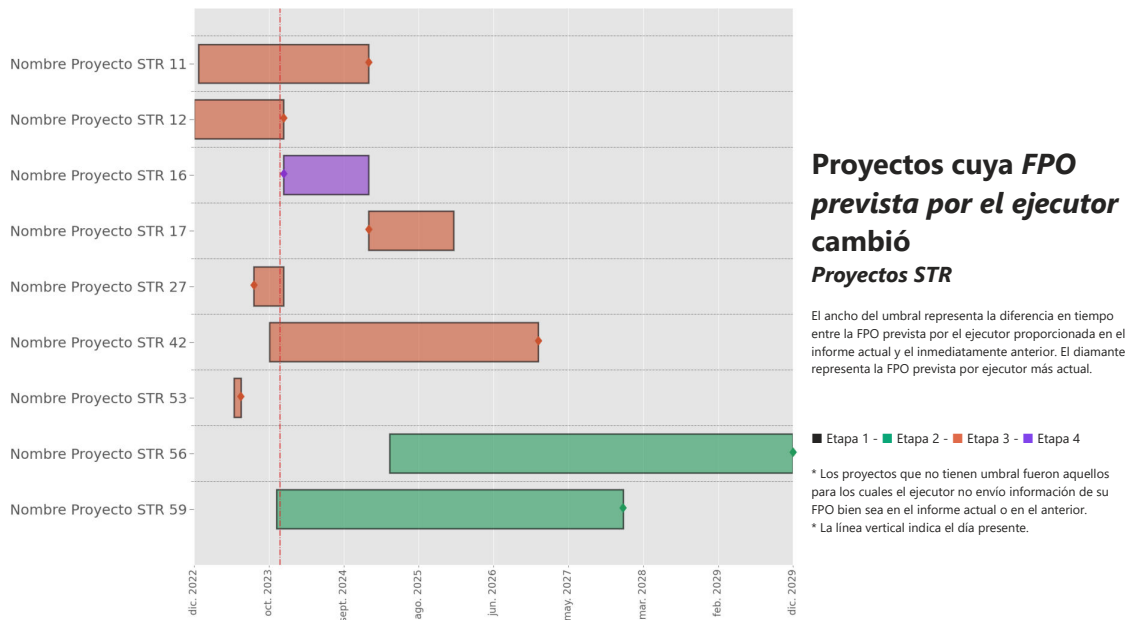


Fig. 5. Página del reporte con análisis de cambios de las fechas de puesta en operación esperadas de los proyectos de los STR



---

de proyectos particulares en la tabla, automáticamente el radar de seguimiento se actualizará y mostrará exclusivamente los proyectos seleccionados. Los gráficos de anillo que se aprecian en la esquina superior izquierda, permiten realizar la misma acción de filtrado mencionada. Adicionalmente, realizan un conteo dinámico de la cantidad de proyectos que se encuentran en cada etapa y nivel acorde a los filtros aplicados. En la porción inferior izquierda de la página podemos ver varios análisis extraídos de los informes. Entre ellos se destaca el texto principal que nos indica la cantidad de proyectos a los cuales se les realiza seguimiento en la modalidad de proyectos del STR, así como cuantos de ellos presentan retraso respecto a su fecha de puesta en operación. Como estadísticas adicionales se presenta el tiempo promedio de retraso para los proyectos y la cantidad de proyectos que entraron en operación respecto al radar inmediatamente anterior.

La figura 3 presenta la segunda página del informe relacionada con los proyectos de los STR. En esta, pueden apreciarse los elementos recién descritos, sin embargo, la tabla de proyectos es reemplazada por un mapa de árbol. Este muestra gráficamente como se distribuyen las áreas geográficas en las cuales se sitúan los proyectos contenidos en el informe. Esta información proviene de las consultas al aplicativo de datos (Modelo de Datos Común - MDC) del CND descritas en la sección E. En la figura puede apreciarse que se ha aplicado un filtro en este objeto visual. Esto se hace evidente en el cambio de algunos de los demás objetos así como en el radar de seguimiento, que muestra ahora exclusivamente los proyectos que se ubican en el área seleccionada.

La figura 4 muestra algunos análisis complementarios. La tabla superior permite visualizar los proyectos que entraron en operación respecto al último radar. Se presenta también su respectivo OR asociado y la fecha de puesta en operación pactada por la UPME que poseía el proyecto. Los gráficos de barras situados en la parte posterior, exponen el porcentaje y la cantidad de proyectos con retrasos asociados a estados determinados de ejecución en la gráfica izquierda, y a operadores de red en la gráfica derecha.

Por último, se presenta en la figura 5 el resultado de un análisis que emergió como propuesta desde el desarrollo del proyecto. Este análisis consta de la creación de un diagrama temporal en formato Gantt que permite visualizar los cambios en las fechas de puesta en

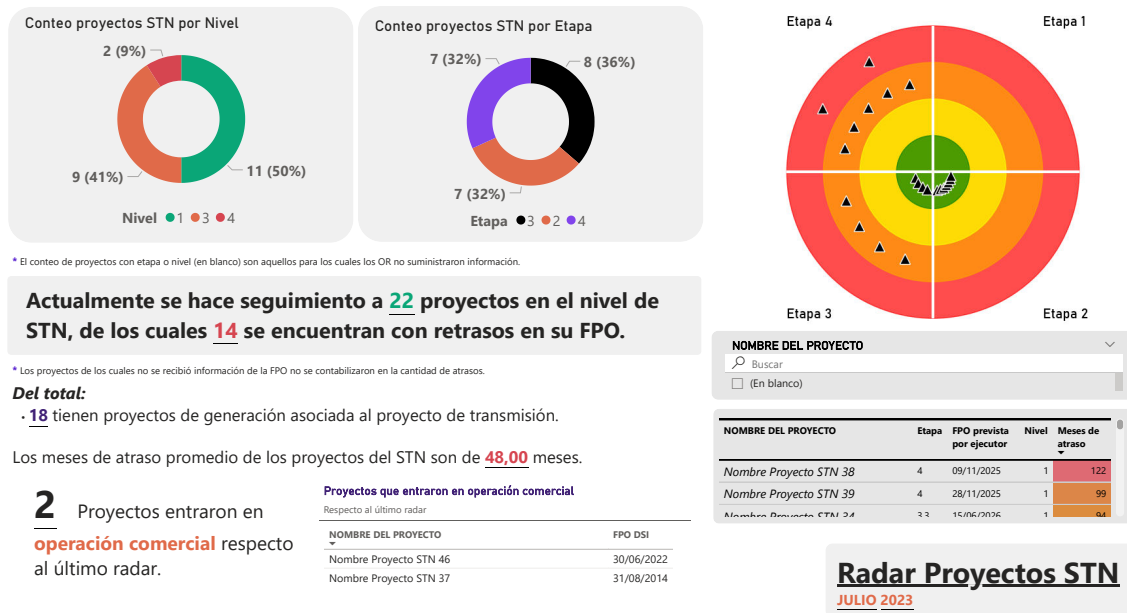


Fig. 6. Página principal del reporte relacionada con los proyectos del STN

operación esperadas de los proyectos. El ancho de cada umbral indica la diferencia temporal entre las fechas de entrada en operación del proyecto para la información del radar anterior y el actual. La posición del diamante indica la fecha de puesta en operación más actualizada y el color la etapa actual del proyecto. Si bien la creación de este objeto visual no es requerida en la metodología del CNO, se determinó que era una fuente útil de información, al proporcionar de manera ágil y verás a quien lo analiza, contexto suficiente de qué proyectos están presentando mayores retrasos en su desarrollo, así como la etapa en la cual se encuentran. Esto habilita a los usuarios de la herramienta para dar seguimiento a los proyectos con propensión a demoras, al mismo tiempo que les permite identificar aquellos que están próximos a alcanzar su fecha de entrada en operación.

Las figuras 6 y 7 exponen lo referente a los proyectos del STN. Similar a lo mencionado de las figuras 2 y 3, se proyectan los mismos análisis y estadísticas descritos, con leves diferencias como la forma y ubicación en que se presentan los proyectos que entraron en operación comercial. Se destaca también, que la gráfica del radar de seguimiento no contiene en sus proyectos el color del factor de impacto operativo, dado que esta característica no es

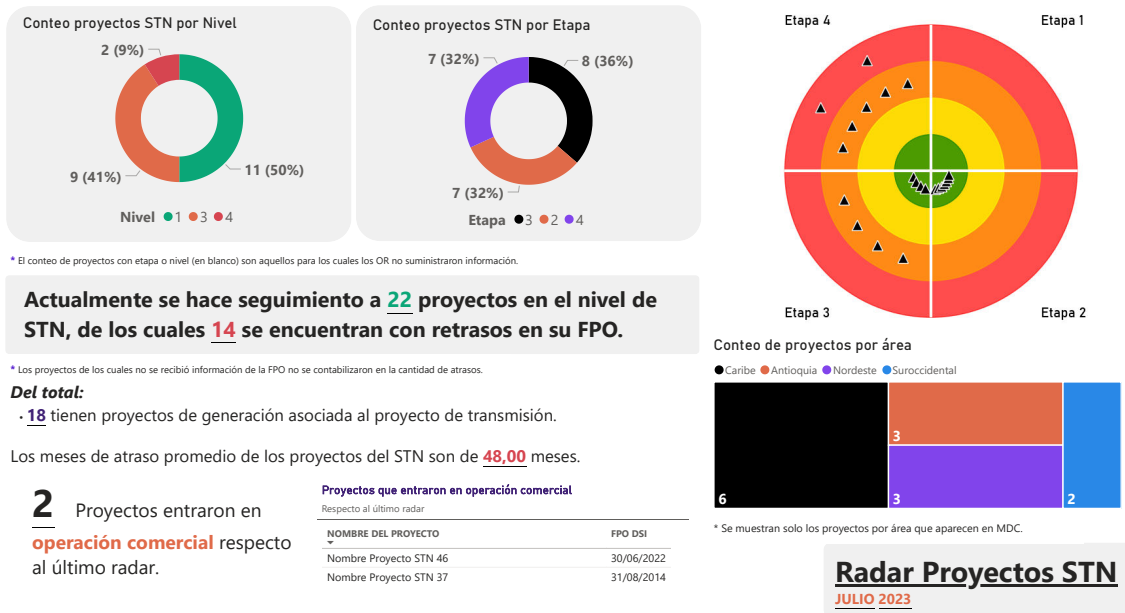


Fig. 7. Página del reporte relacionada con los proyectos del STN y análisis suplementarios extraídos de los aplicativos del CND

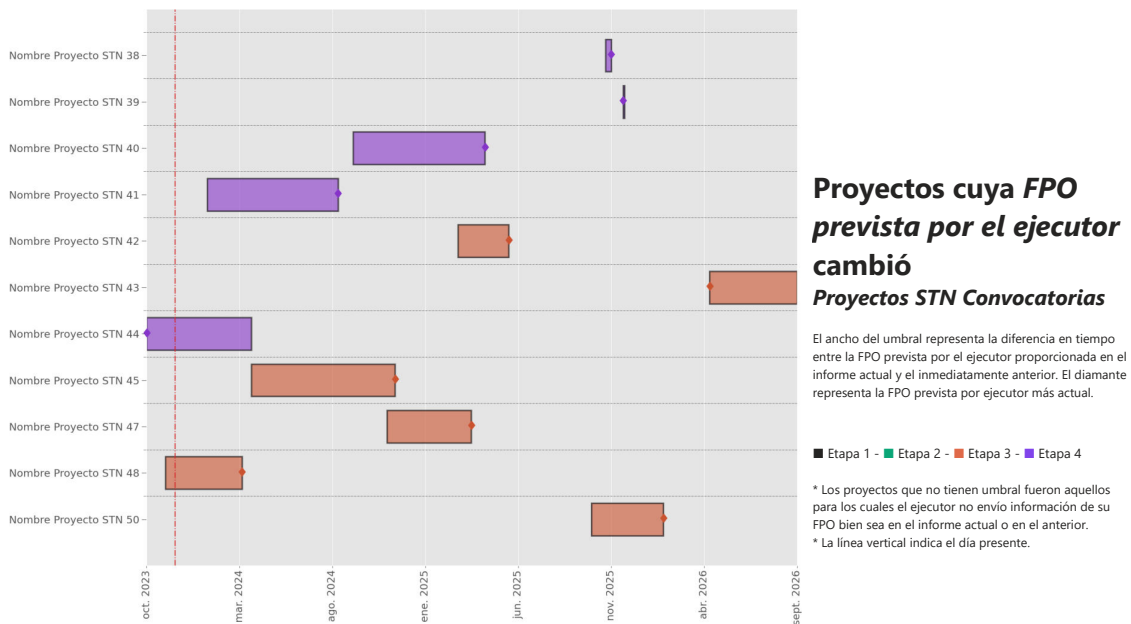


Fig. 8. Página del reporte con análisis de cambios de las fechas de puesta en operación esperadas de los proyectos del STN



Fig. 9. Página principal del reporte relacionada con los proyectos de generación

reportada para los proyectos del STN. Finalmente, la figura 8 muestra el análisis de cambio de fechas de puesta en operación esperadas de los proyectos del STN.

### B. Proyectos de generación

La figura 9 presenta la hoja del reporte correspondiente a los proyectos de generación. En esta puede distinguirse, de nuevo, la aparición del radar de seguimiento. Este contiene una leve modificación respecto al visto para los proyectos de transmisión, ya que, como se explicita en la metodología del acuerdo, los proyectos de generación pueden estar solamente en 2 etapas, a diferencia de las 4 existentes para los proyectos de transmisión. Se observa también, que similar a lo ocurrido para los proyectos de transmisión del STN, este radar no cuenta con el impacto operativo de los proyectos. En esta misma figura, pueden encontrarse en la parte central izquierda, algunas estadísticas relacionadas con la determinación de la cantidad de proyectos que avanzaron de etapa 1 a etapa 2, así como el número de proyectos que cambiaron a un nivel más crítico respecto a la información del radar anterior. Se muestra también, en el texto principal bajo el radar, la cantidad total de proyectos de generación a los cuales se

**Proyectos de generación con avance en porcentaje de cumplimiento de FPO**

Se muestran los proyectos que cambiaron su porcentaje de avance de cumplimiento de la FPO respecto al radar anterior.

Proyecto	Empresa	Avance actual	Cambio en porcentaje de avance
Nombre Proyecto Generación 97	Empresa	94,00 %	59,00 %
Nombre Proyecto Generación 36	Empresa	60,00 %	46,00 %
Nombre Proyecto Generación 69	Empresa	62,30 %	45,20 %
Nombre Proyecto Generación 20	Empresa	72,00 %	41,00 %
Nombre Proyecto Generación 21	Empresa	72,00 %	41,00 %
Nombre Proyecto Generación 68	Empresa	62,40 %	39,90 %
Nombre Proyecto Generación 38	Empresa	41,00 %	39,00 %
Nombre Proyecto Generación 72	Empresa	63,80 %	35,80 %
Nombre Proyecto Generación 62	Empresa	61,20 %	33,20 %
Nombre Proyecto Generación 16	Empresa	90,00 %	30,00 %
Nombre Proyecto Generación 39	Empresa	30,00 %	28,00 %
Nombre Proyecto Generación 27	Empresa	60,00 %	25,00 %
Nombre Proyecto Generación 18	Empresa	65,00 %	22,00 %
Nombre Proyecto Generación 32	Empresa	65,00 %	21,00 %
Nombre Proyecto Generación 35	Empresa	34,00 %	20,00 %
Nombre Proyecto Generación 24	Empresa	28,00 %	14,00 %
Nombre Proyecto Generación 65	Empresa	26,00 %	14,00 %
Nombre Proyecto Generación 75	Empresa	35,00 %	14,00 %
Nombre Proyecto Generación 76	Empresa	28,00 %	13,00 %
Nombre Proyecto Generación 37	Empresa	12,00 %	9,00 %
Nombre Proyecto Generación 42	Empresa	8,00 %	6,00 %
Nombre Proyecto Generación 25	Empresa	28,00 %	5,00 %
Nombre Proyecto Generación 63	Empresa	28,00 %	2,00 %
Nombre Proyecto Generación 64	Empresa	28,00 %	2,00 %
Nombre Proyecto Generación 78	Empresa	23,00 %	2,00 %

**Proyectos de generación con retroceso en porcentaje de cumplimiento de FPO**

Se muestran los proyectos que cambiaron su porcentaje de avance de cumplimiento de la FPO respecto al radar anterior.

Proyecto	Empresa	Avance actual	Cambio en porcentaje de avance
Nombre Proyecto Generación 80	Empresa	15,00 %	-84,00 %
Nombre Proyecto Generación 30	Empresa	26,00 %	-74,00 %
Nombre Proyecto Generación 74	Empresa	28,00 %	-33,00 %
Nombre Proyecto Generación 46	Empresa	2,00 %	-23,00 %
Nombre Proyecto Generación 47	Empresa	15,00 %	-20,00 %
Nombre Proyecto Generación 45	Empresa	2,00 %	-18,00 %
Nombre Proyecto Generación 31	Empresa	26,00 %	-17,00 %
Nombre Proyecto Generación 67	Empresa	14,00 %	-14,00 %
Nombre Proyecto Generación 29	Empresa	63,80 %	-11,20 %
Nombre Proyecto Generación 29	Empresa	26,00 %	-9,00 %
Nombre Proyecto Generación 26	Empresa	23,00 %	-8,00 %
Nombre Proyecto Generación 71	Empresa	17,10 %	-7,90 %
Nombre Proyecto Generación 28	Empresa	28,00 %	-7,00 %
Nombre Proyecto Generación 66	Empresa	26,00 %	-4,00 %
Nombre Proyecto Generación 22	Empresa	28,00 %	-3,00 %
Nombre Proyecto Generación 23	Empresa	28,00 %	-3,00 %
Nombre Proyecto Generación 40	Empresa	2,00 %	-2,50 %

\* Reporte creado con información del CNO a corte de JULIO de 2023.

Fig. 10. Proyectos de generación que presentaron cambios en su porcentaje de cumplimiento de la FPO

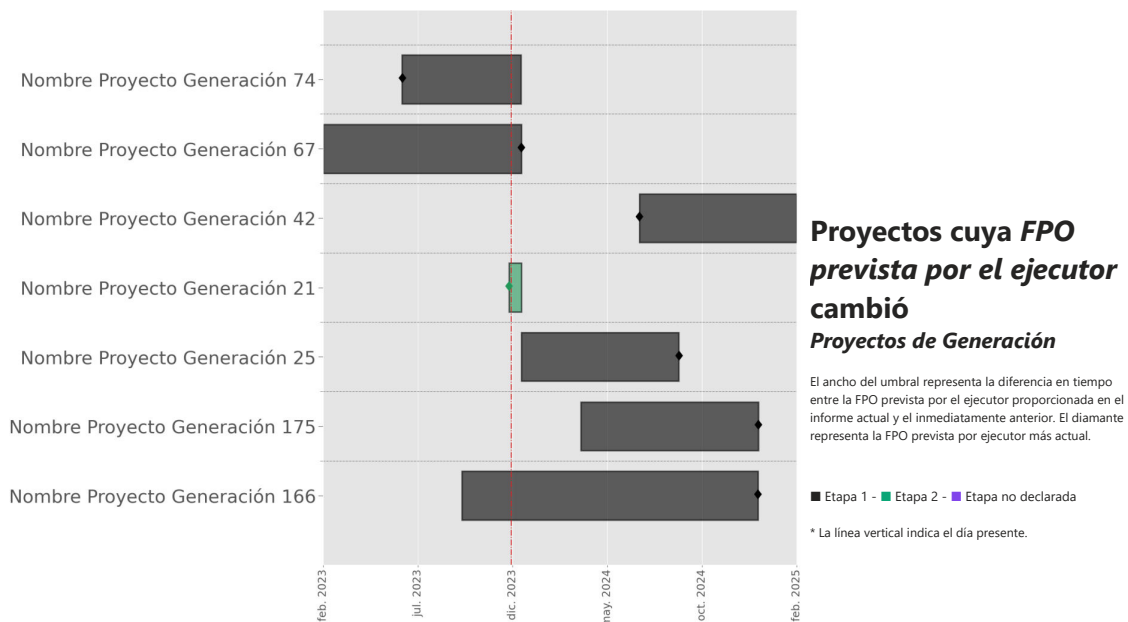


Fig. 11. Página del reporte con análisis de cambios de las fechas de puesta en operación esperadas de los proyectos de generación

---

les realiza seguimiento, a la par que la cantidad de proyectos que avanzaron y retrocedieron en el porcentaje de cumplimiento de su FPO. La figura 10 permite visualizar dos tablas relacionadas con el avance de proyectos de generación. En estas tablas se presentan de forma ordenada ascendente, los proyectos de generación que presentaron cambios en el porcentaje reportado de cumplimiento de sus FPO respecto al radar anterior. La tabla ubicada a la izquierda relaciona los proyectos que tuvieron un incremento en el mencionado valor; por su parte, la tabla derecha, relaciona aquellos que presentaron un retroceso en este porcentaje de avance. Por último, la figura 11 ofrece la visualización de la gráfica de cambio de FPO para los proyectos de generación. En esta figura, similar a lo ya explicado para los proyectos de transmisión, se indica mediante umbrales la diferencia en tiempo que hay entre las FPO previstas por el ejecutor presentes en el informe actual e inmediatamente anterior.

### *C. Actividades complementarias*

Adicional a lo presentado hasta el momento, se realizaron otras actividades complementarias en paralelo al desarrollo del proyecto. Se apoyó al equipo de proyectos y parámetros en la creación de códigos de Python, que habilitaran la automatización y simplificación de procesos y tareas presentes en la cotidianidad del equipo. Se destaca el desarrollo de un automatismo creado para realizar la actualización de la información relacionada con los proyectos de generación y transmisión del SIN. El código implementado realiza consultas a la REST API del portal MDC de XM, con el objetivo de obtener la información más reciente relacionada con los proyectos de generación y transmisión, sus obligaciones de energía en firme y demás datos de interés para su publicación. Una vez obtenida la información requerida, esta es presentada en forma de tablero de Power BI (tablero previamente existente) en la página oficial de XM; este puede encontrarse en la ruta: <https://www.xm.com.co/operaci%C3%B3n/proyectos-sin/formatos-instructivos-y-procedimientos-proyectos-sin>. Esta implementación permitió ahorrar al equipo un proceso altamente manual y realizar algunas correcciones a los modelos de datos previos que generaban errores. La frecuencia de actualización del tablero publicado está a cargo de una dependencia de XM y se están realizando las solicitudes respectivas para dejar en producción

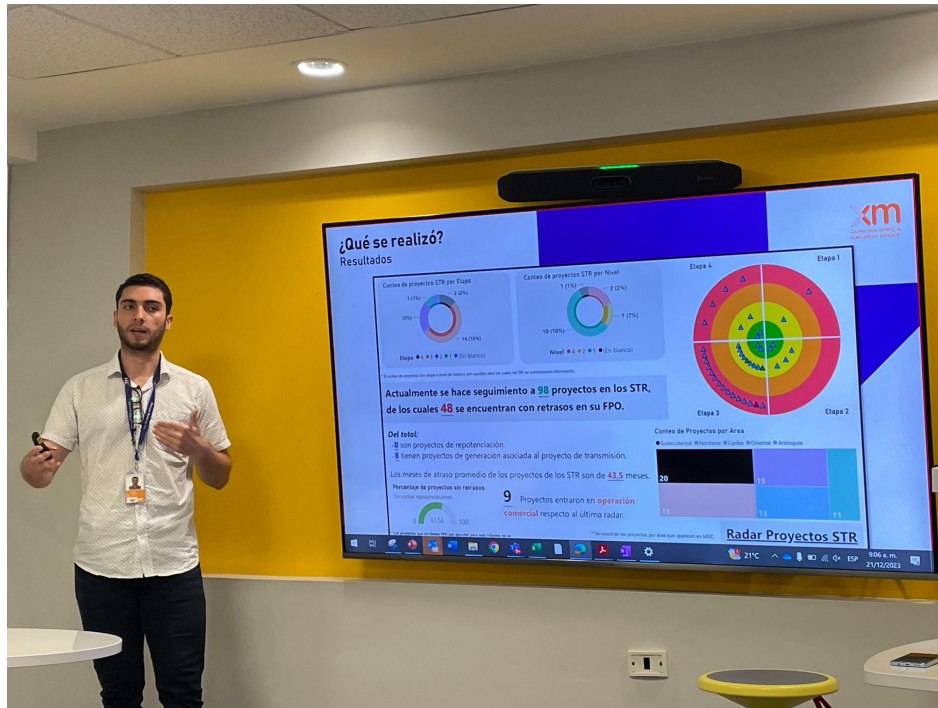


Fig. 12. Actividades de divulgación del proyecto realizado

los automatismos desarrollados. Como parte del proceso de práctica se realizaron también capacitaciones y divulgaciones sobre la utilidad y el uso de la herramienta creada en el proyecto. Estas actividades fueron dirigidas a diversos públicos, entre ellos los propios miembros del equipo, en el cual se desempeñaron las prácticas, así como a personal diverso de XM. La figura 12 muestra una de las divulgaciones realizadas.

---

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación y desarrollo de la herramienta que se describió y que es objeto del presente proyecto, permitió al CND y, en particular al equipo de parámetros y proyectos, generar una mejoría de alto impacto en lo referente a: 1) la reducción de los tiempos requeridos para realizar la implementación de la metodología descrita en el acuerdo CNO 696, reduciendo este tiempo de alrededor de 1 día a cerca de 10 minutos<sup>4</sup>; 2) la generación de análisis novedosos que complementen los que hasta el momento eran incluidos en los reportes, que resultan de gran utilidad para alcanzar el objetivo del acuerdo, permitiendo emitir señales oportunas sobre el avance de los proyectos y; 3) la reducción de la propensión a errores humanos en la generación de los reportes.

Aunque el proyecto ha logrado cumplir con los objetivos establecidos y los desarrollos han demostrado ser efectivos, es necesario señalar algunas consideraciones que se hacen evidentes al utilizar la herramienta creada. Al tratarse de flujos de trabajo operantes bajo automatismos, estos son dependientes de que las fuentes de datos, así como la información que allí se encuentra, mantenga un grado de homogeneidad y uniformidad en el tiempo, tal que, los códigos y automatizaciones desarrollados sigan siendo efectivos. Se debe mencionar también, que la calidad y certidumbre de los análisis, métricas y valores expuestos en los reportes creados por la herramienta, dependen directamente de que tanto la UPME como el CNO, realicen la adquisición y registro de la información que le es remitida al CND con criterios de homogeneidad y fidelidad respecto al panorama real de cada proyecto. En este aspecto, se generaron recomendaciones aplicables a diversos aspectos relacionados con la congruencia y uniformidad de los datos consignados en los informes recibidos, para tratar de impactar de forma positiva los procesos realizados por la UPME y el CNO en lo relacionado al cumplimiento del acuerdo CNO 696.

En última instancia, la evaluación efectuada al término del proyecto y el período de

---

<sup>4</sup>Se precisa que en este tiempo se contempla únicamente el tiempo requerido para la generación de los reportes. Otras actividades, como la revisión de la información contenida en los informes recibidos o cambios de esta, no se contemplan dentro de este tiempo.



la pasantía permite inferir que los objetivos delineados dentro del marco de la iniciativa han sido alcanzados. La herramienta concebida como eje central de la práctica fue entregada al equipo que hará uso de la misma en el Centro Nacional de Despacho, ajustándose a los plazos y exhibiendo las capacidades exigidas para su idóneo desempeño. Tras hacer uso de la herramienta, se identifica el grado de mejoría que esta trae a los procesos impactados por la misma y se hace uso de sus análisis en otros ámbitos en los cuales resulta de utilidad.

## REFERENCIAS

- [1] H. Mazaheri, H. Ranjbar, H. Saber, and M. Moeini-Aghaie, *Expansion planning of transmission networks*. Elsevier, 2021, p. 35–56. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-820491-7.00002-5>
- [2] A. J. Conejo, L. Baringo Morales, S. J. Kazempour, and A. S. Siddiqui, *Investment in Electricity Generation and Transmission*. Springer International Publishing, 2016. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-29501-5>
- [3] Consejo Nacional de Operación, “Acuerdo 696: Metodología para el seguimiento de proyectos de generación, del Sistema de Transmisión Nacional y de los Sistemas de Transmisión Regionales,” 2014.
- [4] S. M. Sohan, F. Maurer, C. Anslow, and M. P. Robillard, “A study of the effectiveness of usage examples in REST API documentation,” in *2017 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC)*, 2017, pp. 53–61.
- [5] CONGRESO DE COLOMBIA, “LEY 143 DE 1994, por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética,” 1994.
- [6] Comisión de Regulación de Energía y Gas, “RESOLUCIÓN 75 DE 2021, Por la cual se definen las disposiciones y procedimientos para la asignación de capacidad de transporte en el Sistema Interconectado Nacional,” p. 6, 2021.
- [7] Comisión de Regulación de Energía y Gas, “RESOLUCIÓN 24 DE 2013, Por la cual se establecen los procedimientos que se deben seguir para la expansión de los Sistemas de Transmisión Regional mediante Procesos de Selección,” p. 6, 2013.
- [8] A. Albrecht and F. Naumann, “Managing ETL Processes.” *NTII*, vol. 8, pp. 12–15, 2008.

- [9] M. Ghasemaghaei, S. Ebrahimi, and K. Hassanein, “Data analytics competency for improving firm decision making performance,” *The Journal of Strategic Information Systems*, vol. 27, no. 1, pp. 101–113, 2018. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963868717300768>
- [10] F. Melchert, R. Winter, and M. Klesse, “Aligning process automation and business intelligence to support corporate performance management,” *AIS Electronic Library*, 2004.
- [11] C. Chapman and K. T. Stolee, “Exploring regular expression usage and context in Python,” in *Proceedings of the 25th International Symposium on Software Testing and Analysis*, ser. ISSTA '16. ACM, Jul. 2016. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1145/2931037.2931073>