

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y DE ADMINISTRACIÓN**

**TRABAJO FINAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN DE LAS ORGANIZACIONES**

**Aplicación de Inteligencia Artificial en entornos de incertidumbre
Eficiencia Energética sobre grandes clientes en Uruguay**

por

**González Fernández, Pablo Andrés
Patiño Luzardo, Wiston Charles**

TUTOR: Cra. Isabel Rodríguez

**Montevideo
URUGUAY
2024**

Página de Aprobación

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba el Trabajo Final:

Título

Aplicación de Inteligencia Artificial en entornos de incertidumbre
Eficiencia Energética sobre grandes clientes en Uruguay

Autores

González Fernández, Pablo Andrés
Patiño Luzardo, Wiston Charles

Tutora

Cra. Isabel Rodriguez

Maestría

Sistemas de Información de las Organizaciones

Puntaje

.....

Tribunal

Profesor.....
.....(nombre y firma).

Profesor.....
.....(nombre y firma).

Profesor.....
.....(nombre y firma).

FECHA.....

RESUMEN EJECUTIVO

La Inteligencia Artificial¹ (en adelante IA) permite, entre otras cosas, analizar grandes volúmenes de datos, y mejorar la precisión en la toma de decisiones mediante técnicas avanzadas como el aprendizaje automático y la optimización. Estas capacidades permiten identificar patrones y realizar predicciones que optimizan los contratos de energía eléctrica, generando recomendaciones eficientes para ajustar los contratos de energía eléctrica, lo que se traduce en ahorros significativos.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo final es desarrollar una solución de software destinada al análisis del consumo de energía eléctrica, con el fin de optimizar tanto los costos como los contratos asociados a estos consumos. Este análisis se fundamenta en datos históricos mensuales de consumo y en el pliego tarifario.

Para llevar a cabo esta investigación, se emplea una metodología descriptiva y exploratoria. Este enfoque se centra en comprender las características y los factores involucrados en la optimización de contratos de energía eléctrica mediante el uso de IA. Además, busca identificar variables relevantes y nuevas perspectivas sobre el problema, proporcionando así una visión integral y detallada del tema en cuestión. Cabe mencionar que el diseño metodológico se basa en la investigación-acción, permitiendo realizar un análisis del comportamiento y tomar decisiones para la mejora de los contratos de manera iterativa.

La herramienta diseñada permitirá la readecuación de los contratos al consumo real, y al previsto. Los consumidores de energía, catalogados como grandes clientes, reciben regularmente archivos electrónicos detallados de su consumo mensual, proporcionados por el proveedor de energía eléctrica (en adelante UTE²). Estos archivos contienen información idéntica a la presentada en las facturas impresas. Estos datos son los insumos primarios para el procesamiento de la información sobre el consumo y permite automatizar una serie de controles. Entre estos controles se incluyen la evaluación de la potencia contratada de energía eléctrica en relación con la potencia efectivamente utilizada, la detección de la energía reactiva, que implica el análisis de recargos y multas por conceptos de energía reactiva, y el análisis de tarifas, que se realiza siguiendo criterios establecidos según el horario, valorando franjas de consumo y tipos de tensión.

Palabras Claves:

Inteligencia artificial, Aprendizaje automático, Optimización, Contratos de energía eléctrica, Análisis de datos, Incertidumbre, Ahorro, Automatización

¹ La inteligencia artificial es un conjunto de tecnologías que permiten que las computadoras realicen una variedad de funciones avanzadas, incluida la capacidad de ver, comprender y traducir lenguaje hablado y escrito, analizar datos, hacer recomendaciones y mucho más. (*¿Qué es la Inteligencia Artificial O IA?*, n.d.)

² La Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE) es una empresa pública del Sector Energía que, a través del desarrollo de las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, así como prestar servicios de asesoramiento y asistencia técnica en las áreas de su especialidad y anexas, trabaja para hacer asequible la energía eléctrica en el país. (*Transformando Con Energía Nuestro País.*, 2018)

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	3
1. JUSTIFICACIÓN	7
2. PLANTEAMIENTO DEL TEMA	8
2.1 ASPECTOS RELEVANTES DEL PROBLEMA	9
3. OBJETIVOS	10
3.1 OBJETIVO GENERAL	10
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
4. HIPÓTESIS	10
5. MARCO TEÓRICO	11
5.1 APRENDIZAJE AUTOMÁTICO - SUPERVISADO	11
5.2 APRENDIZAJE AUTOMÁTICO - NO SUPERVISADO	11
5.3 ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES	12
5.4 DEEP LEARNING	12
5.5 OPTIMIZACIÓN HEURÍSTICA Y METAHEURÍSTICAS	12
5.6 TRABAJOS ACADÉMICOS	13
6. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS	15
6.1 METODOLOGÍA	15
6.1.1 Etapa exploratoria	15
6.1.2 Etapa descriptiva	15
6.1.3 Etapa explicativa	15
7. PRUEBA DE CONCEPTO	16
7.1 DECISIONES TOMADAS	16
7.1.1 Control de Potencia Contratada	16
7.1.2 Lenguaje de Programación	16
7.1.3 Acceso a Datos	17
7.1.4 Tipo de IA elegida	17
7.1.5 Iteraciones y comportamiento de enjambre	17
7.2 ALGORITMOS EVALUADOS	18
7.2.1 Aprendizaje Automático - Supervisado	18
7.2.2 Aprendizaje Automático - No Supervisado	18
7.2.3 Análisis de Series Temporales	19
7.2.4 Deep Learning	19
7.2.5 Optimización Heurística y Metaheurísticas	19
7.3 JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DE PSO	20
7.4 REGLAS DE NEGOCIO	21
7.4.1 Clientes seleccionados	21
7.4.2 Pliego tarifario	21
7.5 DESARROLLO DE LA POC	22
7.5.1 Propuesta de Valor	22
7.5.2 Desafíos Identificados	22

7.5.3 Introducción al Modelo de Dominio	23
7.5.4 Descripción del Modelo	23
7.5.5 Validación de listados electrónicos	25
7.5.6 Potencia Contratada	25
7.5.7 Reglas de cálculo	25
7.5.8 Estrategia para minimizar el importe total	26
7.5.9 Proceso para determinar el valor óptimo de potencia	27
7.5.10 Módulos desarrollados	27
7.5.11 Informe de resultados	28
7.5.11.1 Caso de Ejemplo 1	28
7.5.11.2 Caso de Ejemplo 2	30
7.6 Conclusión POC	32
7.7 Evolución	32
8. ENTREVISTAS	34
8.1 ENTREVISTA 1	34
8.2 ENTREVISTA 2	35
9. CONCLUSIÓN	36
10. BIBLIOGRAFÍA	38
11. ANEXOS	40
ANEXO 1 - CRONOGRAMA	40
ANEXO 2 - ENTREVISTA GUILLERMO VARELA	42
ANEXO 3 - ENTREVISTA GUILLERMO MONCECCHI	43
ANEXO 4 - SOLICITUDES DE ACCESO A INFORMACIÓN PÚBLICA	44
ANEXO 5 - DETALLE DE CÁLCULOS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 7.1. - Modelo de datos	24
Figura 7.2. - Ejecución de algoritmo ejemplo 1	29
Figura 7.3. - Ejecución de algoritmo ejemplo 2	31
Figura 11.1. - Cronograma	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 7.1. - Simulación de consumo	26
Tabla 7.2. - Validación ejemplo 1	30
Tabla 7.3. - Validación ejemplo 2	31
Tabla 11.1. - Cálculos de facturación - Ejemplo 1	52
Tabla 11.2. - Cálculos de facturación de potencia óptima - Ejemplo 1	53
Tabla 11.3. - Cálculos de facturación - Ejemplo 2	54
Tabla 11.4. - Cálculos de facturación de potencia óptima - Ejemplo 2	55

1. JUSTIFICACIÓN

El interés en el tema surge de la observación directa de la problemática relacionada con la gestión de los contratos de energía eléctrica y su optimización, considerando las fluctuaciones y la incertidumbre en el consumo de energía. Esta elección personal está motivada por la relevancia práctica y la posibilidad de aplicar conocimientos de IA para abordar estos desafíos y generar ahorros.

El trabajo se posiciona dentro del área de conocimiento de sistemas de información de las organizaciones, especialmente porque se centra en la aplicación de técnicas de IA para resolver problemas reales y complejos asociados con la eficiencia energética. Esto se alinea con los objetivos de la maestría cursada, donde la tecnología y la gestión de sistemas de información desempeñan un papel crucial en la creación de ventajas competitivas y en la generación de valor agregado para las organizaciones.

El acceso a los datos digitales de las facturas permite procesar la información sobre el consumo y automatizar una serie de controles como:

- **Evaluación de la potencia:** Se contrasta la potencia de energía eléctrica contratada en relación a la efectivamente utilizada.
- **Detección de energía reactiva:** Se realiza un análisis sobre recargos y multas por conceptos de energía reactiva, como resultado de una penalización por parte de UTE.
- **Análisis de Tarifas:** Se evalúa siguiendo criterios establecidos según el horario y valorando franjas de consumo.

La investigación propuesta tiene un potencial de contribuir con la optimización de contratos de energía eléctrica. Este aporte sobre el ámbito de la gestión energética puede servir de base para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el sector. Esta contribución se visualiza no sólo desde una perspectiva técnica, sino también desde una aplicabilidad práctica. El trabajo se fundamentó en literatura existente y responde a una necesidad real en el contexto de las organizaciones que gestionan grandes consumos de energía.

2. PLANTEAMIENTO DEL TEMA

En el ámbito del suministro de energía eléctrica, cada servicio está regulado por un contrato que especifica diversos parámetros esenciales como el tipo de tarifa, la potencia contratada y la tensión. Sin embargo, debido a la variabilidad de los consumos a lo largo del tiempo, estos contratos iniciales a menudo se desactualizan rápidamente. Esta desactualización genera ineficiencias que resultan en recargos económicos para los clientes.

Se identifica una oportunidad de ahorro, en base a controles específicos y mediante el procesamiento automático de los consumos de energía eléctrica dado que actualmente, dichos controles son realizados mayormente en forma manual y la instrumentación de estos controles presentan una serie de inconvenientes:

- El **tiempo** que demanda el procesamiento del archivo recibido es alto, el control de la información general de los servicios - *dirección del servicio, número de cuenta, otros conceptos, recargos y montos mensuales* - implica una dedicación importante de horas.
- El gran **volumen de datos** a analizar hace que el procesamiento sea pasible de errores de cálculo. El responsable de ejecutar la tarea y quien esté a cargo de esta, está expuesto a cometer errores, qué pueden derivar en un impacto negativo para el proceso de contralor.
- Para la interpretación adecuada de los datos se le hace exigible a la persona que lo realiza un **conocimiento técnico específico**, deben comprender la manera en qué los valores de los contratos de electricidad se facturan y cuáles son los elementos incluidos - *cargo fijo, franjas horarias: punta, valle, llano, energía reactiva, potencia, etc.* -

Teniendo presente estos inconvenientes en el contralor manual, es qué el servicio brinda un valor a las organizaciones mediante la aplicación de la automatización en el procesamiento, control y análisis de los datos de consumo de energía eléctrica. Plasmarlo en un plan de negocios permite evaluar la factibilidad de llevar adelante el desarrollo y lanzamiento al mercado de la propuesta.

La presente tesis aborda esta problemática desde un enfoque tecnológico, proponiendo el uso de herramientas de IA para analizar y procesar datos históricos de consumo.

2.1 ASPECTOS RELEVANTES DEL PROBLEMA

1. Desactualización de contratos: con el tiempo, las necesidades energéticas de los consumidores cambian, haciendo que los contratos originales se vuelvan ineficientes y obsoletos.
2. Recargos económicos: las ineficiencias en los contratos resultan en recargos por parte de las compañías eléctricas, penalizando a los consumidores por no ajustar sus contratos a la realidad.
3. Control manual: generalmente el control y ajuste de estos contratos se realiza de forma manual, lo cual es costoso a nivel de tiempo, propenso a errores y requiere un conocimiento técnico especializado.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar una solución basada en IA con el fin de brindar un servicio de análisis y optimización de contratos de energía eléctrica sobre grandes clientes en Uruguay.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar diversos tipos de IA para determinar cuál resulta más adecuada para el análisis de consumos energéticos.

Evaluar y comprender los patrones de consumos actuales en grandes consumidores de energía eléctrica.

Detectar áreas de ineficiencia en el proceso de análisis actual e identificar variables relevantes.

Diseñar una solución basada en IA que permita un análisis más preciso y eficiente.

Implementación y evaluación de la solución propuesta.

4. HIPÓTESIS

La aplicación de IA en el análisis de consumos de energía, especialmente en entornos de incertidumbre, puede mejorar significativamente la eficiencia y la efectividad de los contratos energéticos.

Las técnicas de IA, como el aprendizaje automático y la optimización de patrones de consumo, permiten **ajustar los contratos a la demanda real y proyectada**, reduciendo costos y mejorando el uso eficiente de los recursos energéticos. Esta metodología es también aplicable a otros tipos de consumo, como ser telefonía, agua potable u otros servicios, donde la fluctuación y la incertidumbre influyen en los costos.

Es posible diseñar y desarrollar una solución basada en técnicas de IA que ofrezca una herramienta de optimización.

5. MARCO TEÓRICO

Para cumplir con el objetivo general de este trabajo final, es necesario analizar diferentes tipos de IA que puedan aplicarse al proceso de optimización del análisis de consumos de energía eléctrica. Este marco teórico se centra en presentar los conceptos fundamentales de la IA y su aplicabilidad en la eficiencia energética, proporcionando una base para el diseño e implementación de una solución innovadora en este ámbito.

La IA ofrece diversas técnicas que pueden ser utilizadas para abordar los desafíos presentes en el análisis de grandes volúmenes de datos de consumo energético. Entre estas técnicas se incluyen el aprendizaje automático supervisado, la clasificación de patrones de consumo, y la predicción de demandas futuras. Estas herramientas permiten no solo automatizar procesos que tradicionalmente se realizan de manera manual, sino también mejorar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos, lo que es crucial para la optimización de contratos de energía para grandes clientes.

Para ello, se introducen los siguientes conceptos de tipos de IA:

5.1 APRENDIZAJE AUTOMÁTICO - SUPERVISADO

Utiliza conjuntos de datos etiquetados para entrenar algoritmos que pueden clasificar datos o predecir resultados con precisión.

Regresión y Modelos Predictivos: se basa en entrenar modelos con datos históricos etiquetados para predecir valores continuos (regresión) o resultados categóricos (clasificación). Estos modelos, como la regresión lineal y los árboles de decisión, encuentran patrones en los datos históricos para realizar predicciones precisas. Finalmente, se validan y ajustan utilizando datos de prueba para asegurar su precisión y aplicabilidad a nuevos datos. Estos modelos pueden ayudar a ajustar los contratos para que se alineen más estrechamente con el uso real (James et al., 2013).

Clasificación: identifican patrones y relaciones en los datos para clasificar correctamente las nuevas entradas. Están compuestos por algoritmos como máquinas de vector soporte (SVM), k-nearest neighbors (KNN) o redes neuronales, que pueden clasificar los tipos de consumo y determinar qué contratos son más adecuados para cada perfil de cliente (Alpaydin, 2020).

5.2 APRENDIZAJE AUTOMÁTICO - NO SUPERVISADO

Trabaja con datos que no tienen etiquetas predefinidas.

Clustering (Agrupamiento): técnicas como k-means o clustering jerárquico pueden identificar grupos de consumidores con patrones de uso similares. Esto puede ayudar a personalizar ofertas de contratos que se ajusten mejor a las necesidades de diferentes segmentos de clientes (James et al., 2013) (Gan et al., 2020).

5.3 ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES

Estos modelos capturan patrones y tendencias a lo largo del tiempo, como estacionalidades y ciclos, se enfoca en modelar y predecir valores futuros basándose en datos históricos ordenados cronológicamente.

Modelos ARIMA, SARIMA: específicos para datos de series temporales, estos modelos pueden predecir tendencias y patrones de consumo a lo largo del tiempo, lo que ayuda a planificar mejor las necesidades de energía futuras (Box et al., 2016).

5.4 DEEP LEARNING

Basado en el uso de redes neuronales artificiales con múltiples capas, conocidas como redes profundas. Estas redes están diseñadas para imitar la estructura y el funcionamiento del cerebro humano, permitiendo a las máquinas aprender y reconocer patrones complejos en grandes volúmenes de datos.

Redes Neuronales Artificiales: pueden manejar grandes volúmenes de datos y encontrar relaciones complejas en los datos de consumo de energía. Son útiles para predecir demandas de energía con alta precisión y para modelar entradas no lineales (Drori, 2022).

5.5 OPTIMIZACIÓN HEURÍSTICA Y METAHEURÍSTICAS

Estos métodos pertenecen a un área de la IA conocida como optimización heurística, que es muy útil para resolver problemas de optimización complejos donde las soluciones analíticas no son prácticas o posibles. Estos algoritmos simulan procesos naturales, como la evolución biológica, para iterativamente mejorar soluciones a un problema. Aquí algunos ejemplos:

Algoritmos Genéticos (AG): utilizan técnicas inspiradas en la evolución natural, como selección, mutación y crossover, para generar soluciones óptimas o cercanas a óptimas para problemas de optimización.

Optimización por Enjambre de Partículas (PSO): imita el comportamiento social de enjambres, como peces y aves, para encontrar regiones prometedoras en el espacio de búsqueda mediante la cooperación y el intercambio de información entre las partículas del enjambre (Chemin, 2024) (Jin, 2023) (Ventura et al., 2022).

Estos métodos no dependen de etiquetas ni asumen estructuras subyacentes en los datos, como es el caso en el aprendizaje supervisado y no supervisado. Tampoco se limitan a analizar series temporales ni requieren grandes volúmenes de datos como el Deep Learning.

La aplicación es especialmente útil en problemas donde el espacio de búsqueda es enorme o muy complejo, como la programación de horarios, la optimización de rutas, y la selección de portafolios de inversión. Funcionan bien para optimizar problemas con múltiples objetivos o restricciones, donde las soluciones necesitan ser exploradas y refinadas iterativamente.

Típicamente, estos algoritmos generan soluciones de manera aleatoria o semi-aleatoria y las mejoran iterativamente según una función de "fitness" o "costo" que evalúa qué tan buenas son las soluciones.

Por lo tanto, son ideales para determinar la combinación óptima de características de contrato, como la selección de tarifa y la asignación de potencia, maximizando o minimizando objetivos específicos (por ejemplo, costos, eficiencia).

5.6 TRABAJOS ACADÉMICOS

Una revisión del entorno académico en torno a la optimización de costos eléctricos evidencia un creciente interés en la incorporación de tecnología avanzada para mejorar la eficiencia en el consumo energético. Entre las investigaciones más destacadas a nivel universitario, se han identificado estudios que abordan el análisis de costos eléctricos en organizaciones, aunque generalmente carecen de un enfoque centrado en la optimización mediante IA, como es el caso de la presente tesis.

Si bien existen múltiples investigaciones en la Universidad de la República relacionadas con el sector energético, la mayoría se enfocan en áreas técnicas específicas, como la eficiencia energética, redes eléctricas y mercados de energía. Un ejemplo es la tesis de Elenter (2012), que estudia oportunidades para proyectos de eficiencia energética desde una perspectiva técnico-económica, sin explorar la automatización de los controles mediante IA. Otra investigación relevante es la de Montes de Oca (2017), que aborda la gestión de la demanda energética bajo el paradigma de las redes inteligentes (smart grids), pero sin aplicar metodologías de optimización basadas en IA.

Nuestra propuesta se diferencia al introducir una solución de optimización que utiliza algoritmos de IA, específicamente el algoritmo de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO), para mejorar la gestión de contratos y reducir costos energéticos. Esto se logra mediante el análisis de datos históricos y la automatización de decisiones, lo que permite una alineación más precisa entre la potencia contratada y el consumo real. De esta manera, nuestra tesis se posiciona en una intersección entre la ingeniería eléctrica y la IA aplicada, ofreciendo un enfoque innovador y eficiente para la gestión de costos eléctricos en entornos complejos.

Dentro de los estudios se destacan:

Joel Alexander Spak (2022) - Modelo de estimación de demanda de energía eléctrica - UBA, Especialización en Inteligencia Artificial (Tesis de Grado Especialista en inteligencia artificial)

En la tesis se describe el modelo de predicción de consumo horario de energía eléctrica del Sistema Argentino de Interconexión (SADI) para el día siguiente al día actual. El trabajo permite disminuir el error actual del pronóstico de demanda, además de automatizar la tarea para optimizar tiempos en el desarrollo de la programación diaria de energía, llevada a cabo por la empresa CAMMESA. En la realización de este trabajo se han empleado modelos de regresión polinómica, árboles de decisión, auto-regresiones con media móvil y redes neuronales de larga memoria de corto plazo para la predicción de las próximas horas en forma simultánea. A su vez, se han implementado métricas para el seguimiento específico de

valores característicos de las curvas diarias, como son los máximos (para asegurar el cubrimiento de picos de consumo) y la energía diaria (cubrimiento energético).

Barreto,G., Da Rosa,N., Freire,J. (2021). AUTOMEDEF: Automatización de Medidas de Eficiencia Energética (Tesis de Grado en Ingeniería Eléctrica).

Esta tesis desarrolla un software diseñado para automatizar la recolección de datos eléctricos y fotométricos en el Laboratorio de Eficiencia Energética de la Facultad de Ingeniería, en la Universidad de la República. El software, denominado AUTOMEDEF, permite evaluar el cumplimiento de la norma UNIT 1218:2018 —que establece especificaciones y etiquetado para la eficiencia energética en lámparas LED—, además de realizar mediciones para cualquier tipo de lámpara o luminaria.

Montes de Oca,S.(2017). Estudio de la gestión de la demanda bajo el paradigma de smart grid (Tesis de Maestría en Ingeniería Eléctrica).

Esta tesis de maestría analiza los cambios transformadores que ha experimentado el sector eléctrico en términos de la estructura de los mercados, los modelos de negocio y el rol de los participantes, dentro del contexto del surgimiento de las redes eléctricas inteligentes (smart grids). En particular, se exploran los beneficios de un mayor protagonismo de los usuarios finales, con un enfoque especial en los usuarios residenciales, edificios con gestión centralizada y pequeñas industrias y comercios. El principal objetivo es destacar las ventajas del control de la demanda agregada, facilitadas por la creciente capacidad de automatización y planificación de las aplicaciones eléctricas inteligentes o smart appliances.

Elenter,Ernesto (2012).Análisis de oportunidades de incorporación de proyectos de eficiencia energética de alto impacto (Tesis de Maestría en Ingeniería de la Energía).

Esta tesis examina el análisis costo-beneficio de los programas que promueven inversiones en eficiencia energética desde el lado de la demanda, los cuales son financiados o incentivados parcialmente por la compañía eléctrica (UTE). La metodología aplicada se basa en la estimación de costos y beneficios desde diversas perspectivas al realizar inversiones en tecnologías eficientes en consumo energético, como iluminación, paneles solares, refrigeradores, aires acondicionados y motores, entre otros. El objetivo de estas inversiones es lograr una reducción significativa en el consumo de energía.

6. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS

6.1 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo esta investigación, se emplea un diseño metodológico basado en la **investigación-acción**. Este enfoque permite realizar un análisis del comportamiento y, en base a esto, tomar decisiones para la mejora de los contratos de energía eléctrica mediante el uso de IA. La metodología se divide en varias etapas: exploratoria, descriptiva y explicativa. De acuerdo con Álvarez-Gayou, tres perspectivas destacan en la investigación-acción: la visión técnico-científica, la visión deliberativa y la visión emancipadora. En la presente tesis, se aplica la primera de estas perspectivas. Este modelo consiste en un conjunto de decisiones en espiral, basadas en ciclos repetidos de análisis para conceptualizar y redefinir el problema continuamente. Así, la investigación-acción se integra con fases secuenciales de acción: planificación, identificación de hechos, análisis, implementación y evaluación (Álvarez-Gayou Jurgenson, 2003).

6.1.1 Etapla exploratoria

Se centra en la comprensión inicial de las características y los factores involucrados en la optimización de contratos de energía eléctrica. En esta fase, se recolectan datos históricos de consumo y se identifican las variables relevantes que pueden influir en el análisis. Este enfoque exploratorio es adecuado cuando se investiga un fenómeno en el que se necesita comprender mejor las variables y las relaciones entre ellas (Creswell & Creswell, 2018).

6.1.2 Etapla descriptiva

En esta fase, se realiza una recolección y análisis cuantitativo de datos para responder a las preguntas de investigación. Se establecen con exactitud patrones de comportamiento en base a datos de consumo. El análisis descriptivo permite detallar cómo se comportan las variables identificadas durante la etapa exploratoria y proporciona una visión integral del problema. Este enfoque se alinea con las técnicas descritas por Andy Field, quien destaca la importancia de la identificación de patrones y la toma de decisiones basada en datos (Field, 2017).

6.1.3 Etapla explicativa

Aquí se justifica la selección de las variables y se describen los modelos y pruebas realizadas. La aplicación de IA permite evaluar la eficacia de diferentes técnicas para la predicción y optimización del consumo de energía. Esto se lleva a cabo en un entorno controlado, pero no completamente aislado de variables externas, lo cual es adecuado para estudios aplicados en entornos reales (Hernández Sampieri et al., 2014).

En resumen, la tesis combina un enfoque descriptivo y exploratorio para comprender y optimizar contratos de energía eléctrica mediante IA, con un diseño basado en la investigación-acción que permite evaluar la eficacia de las soluciones propuestas en un entorno real. Como resultado, se podrán realizar predicciones y recomendaciones basadas en el análisis de datos históricos y patrones de comportamiento identificados.

7. PRUEBA DE CONCEPTO

La realización de una Prueba de Concepto (POC) en el contexto de esta tesis resulta fundamental, dado que se busca demostrar la viabilidad práctica y técnica de una solución basada en IA aplicada al análisis de consumos de energía eléctrica. Considerando que los controles actuales de consumo energético son mayoritariamente manuales, costosos en tiempo, y propensos a errores, la automatización propuesta mediante IA tiene el potencial de resolver estas limitaciones. Además, la diversidad y el volumen de datos disponibles justifican la necesidad de validar la efectividad de la técnica de IA seleccionada, la Optimización por Enjambre de Partículas (PSO), para detectar ineficiencias y optimizar contratos energéticos en entornos de incertidumbre. Este enfoque asegura que los resultados puedan ser transferibles al contexto real de grandes consumidores de energía.

Una POC es, por definición, una implementación limitada y experimental de un proyecto que se utiliza para verificar si una idea o teoría es viable en la práctica. En el marco de esta tesis, la POC se centra exclusivamente en la evaluación de la técnica PSO, aplicada en un entorno controlado. El objetivo principal es identificar posibles problemas, evaluar los beneficios potenciales y demostrar la funcionalidad básica del sistema, validando que el algoritmo seleccionado puede abordar eficientemente las necesidades de optimización del consumo energético.

7.1 DECISIONES TOMADAS

En el desarrollo de nuestra prueba de concepto, se tomaron decisiones para asegurar la viabilidad y relevancia del proyecto dentro del ámbito de eficiencia energética. A continuación, se detallan los puntos más relevantes:

7.1.1 Control de Potencia Contratada

La POC se enfocó en el análisis y optimización de la potencia contratada sobre grandes clientes. Este fue un aspecto importante ya que un mal dimensionamiento de la potencia puede resultar en ineficiencias económicas significativas, como recargos por potencia excedida o costos innecesarios por contratar más potencia de la necesaria. La optimización de la potencia es uno de los pilares que contribuye a la eficiencia energética y a reducir costos.

7.1.2 Lenguaje de Programación

Se decidió utilizar Python como el lenguaje de programación principal para desarrollar la POC. Python fue elegido por su simplicidad y la disponibilidad de bibliotecas robustas enfocadas en IA. Otro punto importante en la decisión fue la gran comunidad de desarrolladores existente.

7.1.3 Acceso a Datos

El acceso a los datos se realizó a través de una base de datos PostgreSQL. El motor de bases de datos fue seleccionado por su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y por su compatibilidad con las herramientas de análisis de datos utilizadas en Python. Además, permite realizar consultas complejas de manera eficiente, lo que fue esencial para la gestión y análisis de los datos de consumo energético.

7.1.4 Tipo de IA elegida

El problema que enfrentamos es inherentemente multidimensional, no lineal y continuo, lo que nos llevó a evaluar distintas técnicas de IA para determinar cuál sería la más efectiva para este tipo de optimización. Entre las opciones evaluadas, seleccionamos la **Optimización por Enjambre de Partículas (PSO)** por sus ventajas específicas en la resolución de problemas de optimización complejos, dejando de lado otros enfoques que, aunque potentes en otros contextos, no ofrecían el mismo nivel de eficacia para nuestro problema particular.

Para la prueba de concepto se decidió utilizar PSO, debido a su eficacia en la resolución de problemas de optimización no lineales y multidimensionales, como es el caso de la optimización de potencia en sistemas complejos de consumo energético.

El algoritmo PSO se inspira en el comportamiento social de enjambres de animales, como bandadas de aves o bancos de peces, que buscan de manera colaborativa una mejor solución o área de búsqueda. Cada partícula del enjambre representa una posible solución al problema y se mueve a través del espacio de soluciones ajustando su posición en función tanto de su experiencia previa como de la experiencia de sus vecinas.

7.1.5 Iteraciones y comportamiento de enjambre

Durante el proceso de optimización, las partículas actualizan su posición y velocidad en cada iteración, basándose en la mejor solución local conocida y la mejor solución global descubierta por todo el enjambre. Este enfoque colaborativo reduce el riesgo de que el algoritmo se estanque en óptimos locales, maximizando así la eficiencia de la optimización.

El algoritmo se ejecuta durante un número definido de iteraciones o hasta que se cumpla un criterio de convergencia (por ejemplo, cuando la mejora en la solución es insignificante en varias iteraciones consecutivas), permitiendo así un ajuste fino de la potencia contratada y de los parámetros del sistema para maximizar la eficiencia energética.

En resumen, la elección de PSO para la POC se basa en su capacidad de manejar problemas complejos y multidimensionales, su simplicidad, y su rendimiento robusto en la optimización de sistemas dinámicos. Su velocidad de convergencia, simplicidad y adaptabilidad a entornos dinámicos hacen que sea la solución óptima frente a otros enfoques de IA. Algoritmos como los de aprendizaje supervisado, no supervisado o incluso redes

neuronales, si bien útiles en otras aplicaciones, no ofrecen las ventajas específicas que PSO proporciona para la optimización de contratos de energía eléctrica en tiempo real.

7.2 ALGORITMOS EVALUADOS

A continuación, se detalla la aplicación específica y el ámbito más adecuado para cada uno de los algoritmos de IA mencionados previamente en el Marco Teórico. También se presenta una fundamentación detallada de por qué elegimos PSO y las razones por las que descartamos otros algoritmos.

7.2.1 Aprendizaje Automático - Supervisado

Los algoritmos de aprendizaje supervisado, como los modelos de regresión y clasificación, son altamente eficaces en tareas que requieren predicción basada en datos etiquetados, como es el caso de la predicción de consumos futuros o la clasificación de perfiles de clientes. Sin embargo, nuestro problema principal no se basa en la predicción de valores futuros o la clasificación de tipos de clientes, sino en la optimización de variables, como la potencia contratada, en un espacio de búsqueda complejo.

Regresión y Modelos Predictivos: estos modelos (regresión lineal, árboles de decisión, etc.) son útiles para predecir tendencias de consumo o ajustar contratos en función de datos históricos, pero no son adecuados para optimizar de manera continua en entornos no lineales, como es el caso del análisis de consumo energético que varía en múltiples dimensiones. Si bien podrían ayudar en el análisis previo, no se ajustan a la naturaleza del problema de optimización.

Clasificación: aunque algoritmos como SVM o KNN son efectivos para clasificar datos y encontrar patrones, su aplicación en este contexto es limitada, ya que no necesitamos clasificar datos sino optimizar parámetros continuos como la potencia contratada y el uso de energía reactiva. Por lo tanto, fueron descartados.

7.2.2 Aprendizaje Automático - No Supervisado

El aprendizaje no supervisado, como el clustering, es útil para agrupar clientes con patrones de consumo similares, lo que podría facilitar la personalización de contratos. Sin embargo, en nuestro caso, el objetivo es encontrar configuraciones óptimas de potencia y tarifa, no agrupar consumidores. Aunque estas técnicas podrían ayudar a segmentar clientes en etapas iniciales del análisis, no son apropiadas para la optimización directa que necesitamos realizar.

Clustering (Agrupamiento): este enfoque segmenta consumidores, pero no resuelve el problema central de la optimización. Al carecer de una función objetivo clara y no tener una dimensión de tiempo para ajustar en tiempo real los contratos, se descartan.

7.2.3 Análisis de Series Temporales

Los modelos ARIMA y SARIMA son poderosas herramientas para analizar y predecir series temporales, como el consumo energético a lo largo del tiempo. Aunque útiles para identificar patrones de demanda a lo largo de distintos períodos, su enfoque está más orientado a la predicción que a la optimización. Nuestro enfoque requiere ajustes continuos y en tiempo real de los contratos en función de las condiciones actuales y futuras.

Modelos ARIMA, SARIMA: se descartaron porque se enfocan en predicciones temporales y no ofrecen una solución efectiva para optimizar el uso de recursos energéticos en función de un conjunto amplio de variables simultáneas y continuas, como lo hace PSO.

7.2.4 Deep Learning

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) y otros modelos de deep learning son excelentes para reconocer patrones complejos y trabajar con grandes volúmenes de datos, lo que podría ser útil en tareas de predicción a gran escala. Sin embargo, vimos que el costo computacional, la necesidad de grandes cantidades de datos para entrenar los modelos, y la dificultad para ajustar estos modelos a problemas de optimización continua, hacen que no sean la opción más adecuada para nuestro caso.

Redes Neuronales Artificiales: aunque poderosas, las redes neuronales son innecesariamente complejas para nuestro problema de optimización de potencia y costos. Requieren un entrenamiento largo y no ofrecen las ventajas que proporcionan los algoritmos basados en la naturaleza, como el PSO, en términos de simplicidad y adaptabilidad.

7.2.5 Optimización Heurística y Metaheurísticas

Finalmente, los algoritmos heurísticos y metaheurísticos se presentan como la solución ideal para problemas de optimización complejos. Estos algoritmos están diseñados para encontrar soluciones óptimas o cercanas a óptimas en espacios de búsqueda grandes y no lineales, sin necesidad de modelos precisos ni gradientes matemáticos. Dentro de esta categoría evaluamos dos opciones principales: los algoritmos genéticos (AG) y la **Optimización por Enjambre de Partículas (PSO)**.

Algoritmos Genéticos (AG): son altamente efectivos para la exploración de grandes espacios de búsqueda y pueden encontrar soluciones óptimas mediante técnicas de selección, mutación y cruce. Sin embargo, tienden a ser más lentos en la convergencia que PSO y requieren una mayor parametrización y ajuste, lo que aumenta su complejidad. Además, pueden quedar atrapados en soluciones subóptimas debido a la naturaleza discreta de su proceso de búsqueda.

Optimización por Enjambre de Partículas (PSO): se inspira en el comportamiento social de enjambres de animales y se adapta muy bien a problemas continuos y multidimensionales. Ofrece una convergencia rápida hacia soluciones óptimas sin requerir complejas operaciones matemáticas, como derivadas. Cada partícula en el enjambre busca la mejor solución moviéndose a través del espacio de búsqueda en función tanto de su experiencia previa como de la información de otras partículas. Este enfoque es ideal para optimizar contratos de energía, ya que permite ajustar dinámicamente los parámetros (potencia contratada, tarifas, etc.) en función de datos históricos y en tiempo real.

7.3 JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DE PSO

Elegimos este algoritmo porque ofrece una serie de ventajas que lo hacen adecuado para el objetivo de optimización de potencia en un entorno donde las variables pueden ser difíciles de modelar con precisión. Las principales razones para esta elección incluyen:

1. **Convergencia rápida:** a diferencia de otros algoritmos de optimización como los algoritmos genéticos, el mismo tiende a converger más rápido hacia una solución óptima, lo cual es crucial en sistemas donde se busca maximizar la eficiencia en un tiempo razonable.
2. **Simplicidad de implementación:** a pesar de su robustez, es fácil de implementar, ya que no requiere la construcción de complejas funciones de fitness o derivadas, lo que lo hace ideal para nuestro problema basado en la optimización de datos históricos de consumo energético.
3. **Adaptabilidad y escalabilidad:** se adapta bien a problemas con un gran número de variables, lo que lo hace ideal para la optimización de contratos de potencia y consumo energético, donde se deben considerar múltiples factores simultáneamente. Además, su capacidad de ajustar soluciones en función de la experiencia local y global lo convierte en un algoritmo ideal para la optimización continua, permitiendo ajustes en tiempo real a medida que se reciben nuevos datos.
4. **Optimización en tiempo real:** su naturaleza iterativa permite realizar ajustes continuos conforme se reciben nuevos datos de consumo, lo que es clave para gestionar eficientemente la potencia contratada y minimizar recargos.
5. **Reducción del riesgo de óptimos locales:** gracias a su enfoque colaborativo, reduce el riesgo de quedar atrapado en soluciones subóptimas, maximizando la eficiencia en la búsqueda de soluciones óptimas para los contratos energéticos.

7.4 REGLAS DE NEGOCIO

7.4.1 Clientes seleccionados

El control manual de los consumos de energía se vuelve cada vez más complejo a medida que aumenta el número de servicios contratados por los organismos. Por ello, resulta necesario establecer un criterio para delimitar el alcance del análisis. En este caso, el punto de corte se ha definido considerando a aquellos clientes de UTE que poseen más de 20 servicios contratados. Estos clientes, debido al volumen de servicios que gestionan, reciben mensualmente los listados electrónicos de sus consumos de energía, lo que los convierte en candidatos idóneos para el análisis automatizado.

Estos grandes usuarios suelen estar bajo las tarifas destinadas a medianos y grandes consumidores, lo que refuerza la importancia de segmentar el mercado de manera estratégica. Aunque el mercado objetivo abarca a todos los consumidores de UTE que reciben sus consumos en formato electrónico, la rentabilidad del análisis justifica priorizar en primera instancia a aquellos clientes con un volumen considerable de servicios contratados. En una segunda instancia, se procede a segmentar el mercado por sector de actividad, ya que el consumo energético varía significativamente según la naturaleza operativa de cada cliente. Por ejemplo, el perfil de consumo de una Intendencia difiere notablemente del de un organismo como ANCAP o ANEP.

Como señala Philip Kotler (Kotler & Armstrong, 2012), los clientes de un negocio deben definirse con base en aquellos a los que la empresa pretende servir. En este contexto, se han establecido dos variables clave para la segmentación: el volumen de servicios contratados y la naturaleza operativa del cliente, que influye directamente en sus patrones de consumo de energía.

7.4.2 Pliego tarifario

El *pliego tarifario* de UTE es el insumo fundamental sobre el cual se basan los cálculos de optimización de consumo eléctrico desarrollados en este proyecto. Este documento técnico, emitido anualmente (en excepciones cada 6 meses) por la empresa estatal UTE y refrendado por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) y la Presidencia de la República mediante un decreto presidencial, define los precios, cargos y penalizaciones aplicables a los diferentes tipos de contratos de energía eléctrica disponibles para los consumidores en Uruguay. En el mismo se establecen las tarifas específicas que los grandes clientes pueden contratar, así como las condiciones bajo las cuales se imponen penalizaciones por excedentes de potencia o energía reactiva, elementos críticos que influyen directamente en los costos asociados al consumo eléctrico. Las reglas definidas en el Pliego Tarifario están representadas en la *función objetivo* del PSO.

Dado que este análisis se centra en empresas, se excluyen las tarifas residenciales (como la Tarifa Residencial Simple, Doble y Triple Horario), que no son aplicables a entidades comerciales o industriales. Además, se omiten las tarifas correspondientes al alumbrado público, ya que estas cuentan con un tratamiento separado y específico.

En consecuencia, el enfoque de este trabajo se dirige a las tarifas aplicables a medianos y grandes consumidores de energía eléctrica, cuyos componentes reflejan patrones de consumo más complejos y, por tanto, son más susceptibles de ser optimizados a través del sistema automatizado desarrollado. Las tarifas analizadas incluyen:

- **Tarifa General Simple (TGS)**
- **Tarifa General Hora-Estacional (THE)**
- **Tarifas para Medianos Consumidores (MC1, MC2, MC3)**
- **Tarifas para Grandes Consumidores (GC1, GC2, GC3, GC4, GC5)**
- **Tarifas de Zafra Estival (Z1, Z2, Z3)**

Cada una de estas tarifas contempla una estructura que incluye componentes como el cargo por consumo de energía, el cargo por potencia contratada y recargos por potencia excedentaria, los cuales son esenciales para definir el costo total de suministro. Estos componentes son analizados automáticamente por el enjambre de algoritmos, que itera sobre los datos para encontrar la configuración óptima de contrato y potencia, con el fin de minimizar los costos para el cliente.

7.5 DESARROLLO DE LA POC

7.5.1 Propuesta de Valor

Establecer una adecuada propuesta de valor para la tesis es fundamental para potenciar su carácter estratégico. Dado que el procesamiento manual de datos puede ser complejo y demandar tiempo considerable, la propuesta de valor debe resaltar cómo la solución facilita el control de consumos eléctricos, especialmente ante grandes volúmenes de datos. Uno de los puntos clave que se destaca es la "Capacidad de análisis a gran escala de los consumos eléctricos", apoyada en el desarrollo de un software específico para la analítica de listados electrónicos basados en IA.

Otra característica destacable es la "Automatización de los controles", que permite aplicar los mismos procedimientos a múltiples contratos de forma eficiente.

Los controles específicos de potencia implementados en la POC permiten proponer mejoras en los contratos evaluados. El resultado de estos análisis se concreta en una "Mejor Potencia Sugerida", reflejando el objetivo de optimización en los consumos energéticos del cliente.

7.5.2 Desafíos Identificados

Durante la implementación inicial del script para acceder a la base de datos, se identificaron varios desafíos relacionados con la complejidad de las consultas y la estructura de los datos disponibles. Estos desafíos implicaron la realización de ajustes en el modelo de datos y en las consultas para optimizar el rendimiento del sistema y asegurar que los datos necesarios se obtuvieran de manera precisa y eficiente. Estos ajustes incluyeron la

optimización de las consultas SQL, la indexación de columnas clave y la reestructuración parcial de la base de datos para mejorar el acceso a los datos.

7.5.3 Introducción al Modelo de Dominio

Para optimizar el análisis y procesamiento de los datos de consumo eléctrico, se desarrolló un modelo de dominio que refleja las principales entidades y relaciones involucradas en la gestión de los contratos de suministro de energía eléctrica. Este modelo se fundamenta en los datos proporcionados por UTE a través de los listados electrónicos mensuales, los cuales contienen información detallada sobre los consumos, potencias contratadas, tarifas aplicadas y otros conceptos relevantes para el cálculo y facturación de los servicios.

El modelo de dominio se diseñó con el objetivo de representar de manera clara y eficiente la estructura de los datos involucrados en el proceso de optimización. Esto permite no solo el control automatizado de los consumos, sino también la simulación y ajuste de tarifas, potencia contratada y otros parámetros clave para mejorar la eficiencia energética y reducir costos.

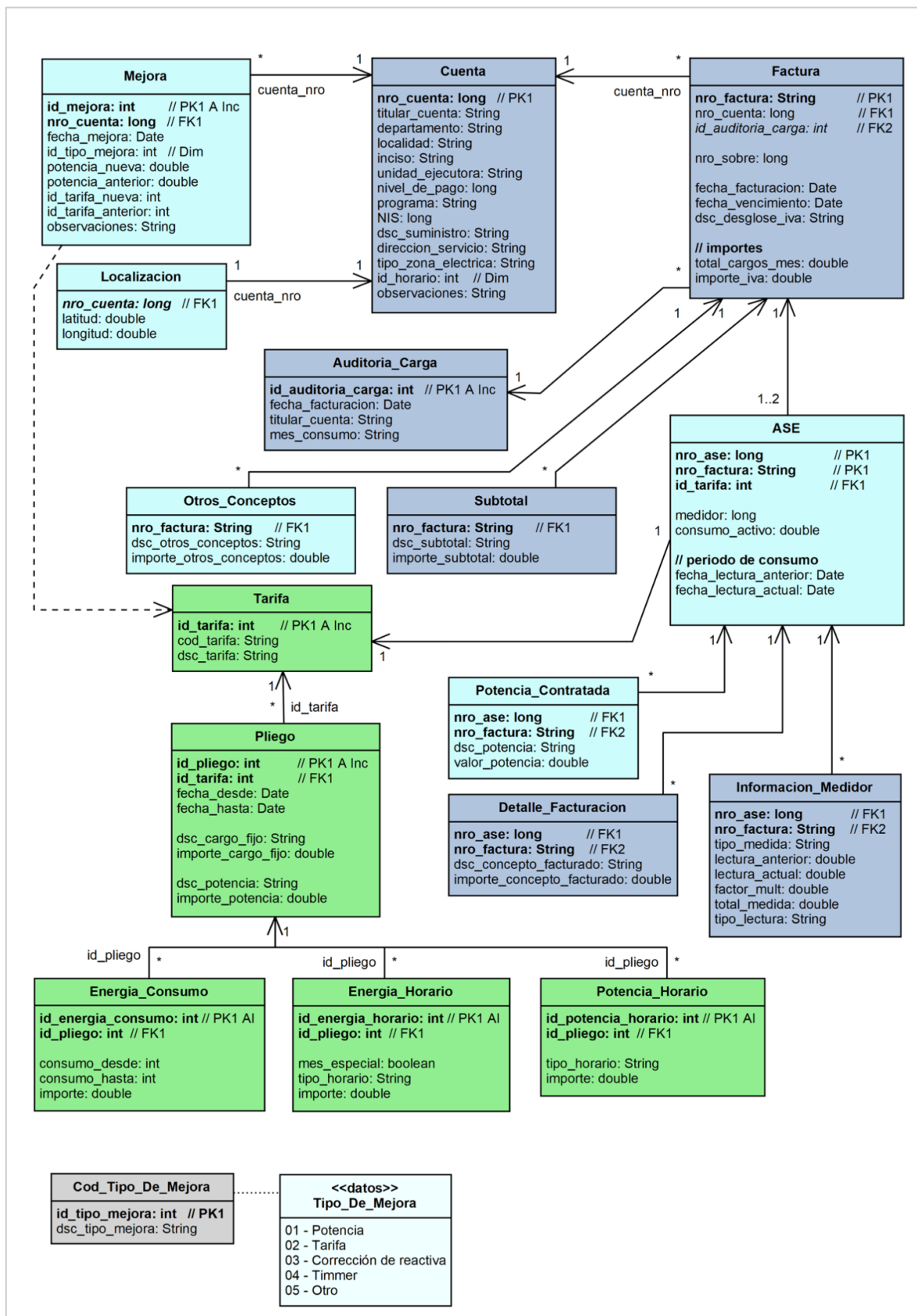
7.5.4 Descripción del Modelo

El modelo de dominio consta de varias entidades interrelacionadas que capturan los aspectos más relevantes del proceso de gestión de consumos eléctricos. A continuación, se describen brevemente las entidades principales:

- **Cuenta:** representa cada uno de los contratos o servicios de energía eléctrica que un cliente tiene con UTE. Cada cuenta tiene información asociada, como el titular, la localización y la potencia contratada. Además, está vinculada a una o más facturas y puede estar sujeta a mejoras en términos de optimización de consumo.
- **Factura:** detalla los consumos y cargos asociados a cada cuenta. Está relacionada con el auditor encargado de verificar la consistencia de la facturación y contiene un desglose de los importes, tanto de energía consumida como de potencia contratada.
- **Pliego:** esta entidad contiene las tarifas y los cargos definidos por UTE, incluyendo el costo de la potencia contratada y el cargo fijo. Es fundamental para determinar el costo total que debe pagar cada cuenta.
- **ASE (Análisis de Servicios Eléctricos):** incluye los datos específicos de cada servicio, como la lectura de los medidores y el consumo activo registrado. También vincula las facturas con los detalles del consumo en cada período, permitiendo un análisis más detallado del uso de energía.
- **Mejora:** representa las optimizaciones o cambios propuestos para reducir costos, como ajustes en la potencia contratada o la corrección de energía reactiva. Esta entidad permite llevar un registro de los cambios implementados y sus efectos.
- **Potencia Contratada y Energía Horario:** estas entidades gestionan los datos relacionados con la potencia contratada y el consumo en diferentes franjas horarias (punta, llano, valle). Son críticas para evaluar la eficiencia de los contratos vigentes y proponer mejoras.

Este modelo, además de organizar los datos, facilita la automatización de los controles y análisis que anteriormente se realizaban de manera manual. Gracias a esta estructura, es posible procesar grandes volúmenes de información de manera eficiente, realizar simulaciones y generar recomendaciones personalizadas para cada cliente en función de su perfil de consumo.

Figura 7.1. - Modelo de datos



7.5.5 Validación de listados electrónicos

Una vez que se reciben los listados electrónicos como respuesta a las solicitudes de acceso a información pública (Anexo 4), se ejecutan una serie de controles de integridad de los datos antes de proceder con su carga y almacenamiento. Estos controles son esenciales para asegurar que cada listado contenga todos los datos requeridos, que la información esté ubicada correctamente y que el formato de los datos sea el adecuado. Esta validación es fundamental para garantizar la integridad de los datos almacenados y evitar la inclusión de información incompleta o inconsistente en el sistema.

Tras la validación, se inicia el procesamiento formal de los datos históricos utilizando la base de datos. En esta fase, se realizan diversas tareas automatizadas para la evaluación de la potencia contratada. La correcta explotación de los datos permite que el sistema realice un análisis detallado y confiable, optimizando los resultados en términos de eficiencia energética y reducción de costos.

7.5.6 Potencia Contratada

La potencia eléctrica es la cantidad de energía que se transfiere a través de un circuito en un determinado período de tiempo, y se mide en Watts (W). Los equipos eléctricos consumen una cantidad específica de Watts mientras están en funcionamiento. Por lo tanto, la potencia de un sistema eléctrico representa cuánta energía puede absorber o entregar un elemento en un momento dado.

En la factura mensual de UTE, la potencia se presenta bajo el rubro "Potencia Contratada". De manera simplificada, este valor indica el límite máximo de energía que puede utilizarse simultáneamente con los equipos eléctricos conectados. Es decir, la potencia contratada debe ser suficiente para permitir el funcionamiento concurrente de todos los equipos instalados. Por ejemplo, si la Potencia Contratada es de 5 kW (5000 Watts), el consumo total de los electrodomésticos encendidos al mismo tiempo no puede superar ese valor. Si se excede este límite, es probable que el interruptor termoelectrico "salte", interrumpiendo el suministro de energía.

Es importante destacar que existe una cierta tolerancia antes de que se produzcan penalizaciones por exceder la potencia contratada. Sin embargo, UTE aplica recargos en función del nivel de exceso, especialmente para consumos que superan la potencia contratada. Esta tolerancia y los recargos varían según el tamaño del suministro eléctrico, con mayores márgenes permitidos para consumos más grandes.

7.5.7 Reglas de cálculo

Se identifican tres escenarios en función del consumo de potencia mensual en relación con la potencia contratada.

1. **Entre el 50% y el 100% de la potencia contratada:** se paga únicamente la potencia efectivamente consumida.
2. **Menor al 50% de la potencia contratada:** se cobra un monto mínimo equivalente al 50% de la potencia contratada, independientemente del consumo.

3. **Mayor al 100% de la potencia contratada:** se aplican recargos según el exceso, con dos niveles:
 - **Entre el 100% y el 130%:** se paga el 200% del excedente sobre el 100% de la potencia contratada.
 - **Mayor al 130%:** se paga el 200% del excedente entre el 100% y el 130%, y el 400% del excedente por encima del 130%.

Este sistema busca incentivar a los usuarios a contratar la potencia adecuada para sus necesidades y evitar sobrecargos innecesarios.

A continuación, se muestra un ejemplo de tabla de recargos, con diferentes consumos y para una potencia contratada de 100kW:

Tabla 7.1. - Simulación de consumo

Consumo	Potencia Contratada (PC)	Pago	Penalización
30	100kW	$100/2 = 50$	$(50-30) = 20$
60		60	0
80		80	0
120		$100 + (2 \times 20) = 140$	$(140-120) = 20$
150		$100 + (2 \times 30) + (4 \times 20) = 240$	$(240-150) = 90$

El control que realiza el software comienza con la obtención de los valores de **Potencia Contratada** y **Potencia Consumida** especificados en los listados electrónicos. A partir de estos datos, el sistema calcula los importes por concepto de recargo según los criterios establecidos en el Pliego Tarifario. Este proceso permite detectar automáticamente situaciones no óptimas dentro del conjunto de servicios contratados por el cliente, como el exceso o el subuso de la potencia contratada, facilitando así la identificación de oportunidades de optimización.

7.5.8 Estrategia para minimizar el importe total

El objetivo es ajustar la potencia contratada de manera que el importe total pagado sea el mínimo posible, teniendo en cuenta que hay recargos si la potencia demandada supera la contratada, y un pago fijo por cada kW contratado, aunque no se consuma. El cálculo de la potencia óptima global que minimice el importe de todas las facturas no debería basarse en la potencia máxima demandada, sino que debe considerar el impacto financiero de la potencia contratada en todas las facturas.

Para lograr esto, la potencia óptima global debería minimizar el costo total de la potencia facturada (considerando los costos fijos por kW contratado y los recargos por exceso de potencia demandada).

7.5.9 Proceso para determinar el valor óptimo de potencia

1. Calcular el importe por cada factura:
 - Para cada factura, calcular el importe pagado en función de la potencia contratada y la potencia demandada. Esto incluye el coste fijo por kW contratado y el recargo por potencia excedida, si existe.
2. Optimizar el total:
 - Utilizar la función de optimización para encontrar la potencia contratada global que minimice la suma total de importes por todas las facturas.

7.5.10 Módulos desarrollados

En el marco de este proyecto, se diseñaron y desarrollaron módulos en Python que estructuran y organizan las funcionalidades principales del sistema, promoviendo la reutilización de código y facilitando su mantenimiento. Los módulos encapsulan tareas específicas del proceso, desde la conexión a la base de datos hasta los cálculos necesarios para la optimización de contratos de energía eléctrica. A continuación, se describen los módulos implementados:

- **db_query.py**: contiene la función para conectarse a la base de datos y obtener los datos necesarios. Este archivo contiene la función `fetch_data` que se encarga de conectarse a la base de datos y ejecutar la consulta SQL.
- **cost_formula.py**: incluye las funciones para calcular el costo total y el costo por factura.
- **main.py**: es el archivo principal que utiliza las funciones de los otros dos archivos y ejecuta el programa.

7.5.11 Informe de resultados

Como resultado de la evaluación de los listados electrónicos, surge un documento de recomendaciones que detalla sugerencias específicas y un listado de los distintos suministros de energía eléctrica que requieren optimización, junto con sus potencias óptimas correspondientes.

En los siguientes ejemplos, los valores obtenidos mediante el algoritmo PSO que convergieron hacia soluciones óptimas son los siguientes:

- Tamaño de enjambre (val_swarmsize) = 50
- Cantidad de iteraciones (val_maxiter) = 100

En los ejemplos citados a continuación se realizó un proceso de validación de los cálculos obtenidos mediante el algoritmo PSO, utilizando planillas de cálculo para comparar los resultados obtenidos del modelo con simulaciones manuales y asegurarse de su precisión. Este ejercicio permite analizar la facturación de energía eléctrica en dos escenarios: con la potencia contratada inicial y con la potencia óptima sugerida por el algoritmo.

El objetivo es calcular los costos totales asociados a los consumos energéticos, teniendo en cuenta diversos parámetros como los límites de potencia contratada, el consumo real y los excesos, de acuerdo con los criterios definidos en los pliegos tarifarios. Este análisis se detalla mediante los siguientes cálculos:

1. **Potencia Contratada:** Se verifica el costo y consumo utilizando la potencia contratada inicial, dividiendo los valores en tramos y aplicando reglas para excedentes y límites establecidos.
2. **Potencia Óptima:** Se realiza el mismo cálculo, pero utilizando la potencia optimizada sugerida por el algoritmo, lo que permite observar la mejora en eficiencia y los ahorros potenciales.

Cada escenario se estructura en tablas detalladas que desglosan los cálculos paso a paso, incluyendo consumo total, límites de potencia y posibles excesos. Esto facilita la comparación entre ambos casos, validando que la solución propuesta no solo es técnicamente viable, sino también económicamente beneficiosa.

7.5.11.1 Caso de Ejemplo 1

En este ejemplo se presenta información asociada a un contrato de energía:

- **Cuenta:** 127121000
Este es el identificador de la cuenta de un cliente.
- **Potencia contratada:** 900 KW
Es la potencia máxima que el cliente ha acordado con UTE. Esta potencia determina parte de los costos fijos que el cliente debe pagar, independientemente de su consumo real.

- **Potencia óptima: 544 KW**
Indica una potencia sugerida o recomendada en base a su histórico de consumo.
- **Costo kWh: \$272,50**
Este es el precio de la energía consumida (kilovatio-hora) facturada. Cada kWh consumido se paga a este precio. Si el cliente consume 1 kWh de energía, se le cobrará \$272,50 por ese kilovatio-hora utilizado.

El ejemplo muestra una situación donde el cliente tiene una potencia contratada de 900 KW, y en base a los cálculos de PSO, la potencia óptima sugerida es de 544 KW. El costo por unidad de energía (kWh) es de \$272,50. Cabe señalar que estos datos son reales.

Cuenta	127121000
Potencia contratada	900 KW
Potencia óptima	544 KW
Costo kwh	\$272,50

Ejecución del algoritmo:

Figura 7.2. - Ejecución de algoritmo ejemplo 1

```

Resumen para la cuenta: 127121000
Potencias demandadas máximas: [543.6, 506.4, 405.6, 477.6, 421.2, 352.8, 492.0, 501.6, 364.8, 408.0, 465.6, 516.0]
Total registros: 12
Límites de optimización global: lb=352.8, ub=597.96
-->> Menor Potencia Óptima Global calculada: 544 kW <<--
Potencia Óptima Global para la cuenta 127121000 (con tolerancia): 653 kW

Resumen final para la cuenta: 127121000
Potencia Óptima Global: 544 kW

```

Aquí se muestra la tabla utilizada para la validación del ejemplo 1.

Tabla 7.2. - Validación ejemplo 1

Mes	Consumo	Pago Potencia Contratada	Pago Potencia Óptima	Ahorro
enero	543,6	\$148.131	\$148.131	\$0
febrero	506,4	\$137.994	\$137.994	\$0
marzo	405,6	\$122.625	\$110.526	\$12.099
abril	477,6	\$130.146	\$130.146	\$0
mayo	421,2	\$122.625	\$114.777	\$7.848
junio	352,8	\$122.625	\$96.138	\$26.487
julio	492	\$134.070	\$134.070	\$0
agosto	501,6	\$136.686	\$136.686	\$0
septiembre	364,8	\$122.625	\$99.408	\$23.217
octubre	408	\$122.625	\$111.180	\$11.445
noviembre	465,6	\$126.876	\$126.876	\$0
diciembre	516	\$140.610	\$140.610	\$0
			Total ahorro	\$81.096

Detalle de cálculos: Anexo 5.1

7.5.11.2 Caso de Ejemplo 2

En este ejemplo se presenta información asociada a un contrato de energía:

Cuenta	4985660000
Potencia contratada	18 KW
Potencia óptima	29 KW
Costo kwh	\$380,10

El ejemplo muestra una situación donde el cliente tiene una potencia contratada de 18 KW la cuál en base a los cálculos de PSO es inferior a la potencia óptima sugerida de 29 KW. En este caso el costo por unidad de energía (kWh) es de \$380,10.

Ejecución del algoritmo con datos reales:

Figura 7.3. - Ejecución de algoritmo ejemplo 2

```
Resumen para la cuenta: 4985660000
Potencias demandadas máximas: [22.01, 15.66, 17.49, 14.34, 25.69, 28.17, 28.76, 25.95, 21.93, 15.05, 18.48, 21.65]
Total registros: 12
Límites de optimización global: lb=14.34, ub=31.64
--> Menor Potencia Óptima Global calculada: 29 kW <--
Potencia Óptima Global para la cuenta 4985660000 (con tolerancia): 35 kW

Resumen final para la cuenta: 4985660000
Potencia Óptima Global: 29 kW
```

Aquí se muestra la tabla utilizada para la validación del ejemplo 2.

Tabla 7.3. - Validación ejemplo 2

Mes	Consumo	Pago Potencia Contratada	Pago Potencia Óptima	Ahorro
enero	22,01	\$9.890	\$8.366	\$1.524
febrero	15,66	\$5.952	\$5.952	\$0
marzo	17,49	\$6.648	\$6.648	\$0
abril	14,34	\$5.451	\$5.511	-\$61
mayo	25,69	\$12.688	\$9.765	\$2.923
junio	28,17	\$14.573	\$10.707	\$3.866
julio	28,76	\$15.022	\$10.932	\$4.090
agosto	25,95	\$12.885	\$9.864	\$3.022
septiembre	21,93	\$9.829	\$8.336	\$1.494
octubre	15,05	\$5.721	\$5.721	\$0
noviembre	18,48	\$7.207	\$7.024	\$182
diciembre	21,65	\$9.617	\$8.229	\$1.387
			Total ahorro	\$18.427

Detalle de cálculos: Anexo 5.2

7.6 Conclusión POC

La misma sirvió como un primer paso crítico para validar el enfoque propuesto en la optimización de la potencia contratada mediante IA. Los resultados obtenidos en esta etapa proporcionaron una base de conocimiento sólida para el desarrollo posterior y la implementación de una solución completa que podría ofrecer beneficios importantes en términos de eficiencia energética y reducción de costos para grandes consumidores de energía. Además, entendemos que este trabajo puede extenderse a otros tipos de consumos, los cuales se verán beneficiados al aprovechar estos cálculos y avances, contribuyendo a la optimización en otros contextos donde la fluctuación del consumo y la eficiencia sean esenciales.

7.7 Evolución

Dado el carácter tecnológico de esta iniciativa, es fundamental incorporar la Investigación y Desarrollo (I+D) como una actividad integral. La inversión en I+D representa una oportunidad para optimizar los procesos actuales y prolongar la vigencia tecnológica. A continuación, se detallan algunos de los próximos pasos en esta dirección:

Automatización y Optimización de Procesos

Automatización robótica de procesos (RPA), la implementación de tecnologías de automatización para la extracción y limpieza de datos de consumo. Este enfoque reducirá tiempos y minimizará los errores humanos en la manipulación de grandes volúmenes de datos.

Desarrollo aplicado e investigación en técnicas avanzadas de IA para mejorar el análisis de consumo eléctrico, identificando patrones complejos y permitiendo recomendaciones optimizadas.

Mejora Continua en los Controles

Mantenimiento y consolidación de listados, la automatización del proceso de consolidación y almacenamiento de los listados mensuales, asegurando que se integren en la solución de forma eficiente y en tiempo real.

Actualización de controles estratégicos, los cambios anuales en el Pliego Tarifario requieren una actualización constante de los controles. La adaptación de estos controles asegurará que el sistema refleje fielmente las regulaciones vigentes y optimice los costos en función de las tarifas y condiciones actuales, manteniendo el histórico de las tarifas.

Ajustes en respuesta a cambios de formato en los archivos de UTE, ante posibles modificaciones en los formatos de los archivos electrónicos, se requerirán de ajustes para su correcto funcionamiento.

Ampliar controles implementados, poder incorporar controles de energía reactiva y tipo de tarifa.

Desarrollo de Capacidades para Nuevas Funcionalidades

Implementación de un sistema de reportes personalizados, el desarrollo de un módulo de reportes que permita acceder a análisis específicos, adaptados a los patrones de consumo,

identificando potenciales áreas de ahorro y oportunidades de mejora.

Expansión y Escalabilidad del Proyecto

Evaluación de nuevos segmentos de mercado, considerando la potencial escalabilidad de la solución, se investigará la posibilidad de extender el servicio a sectores adicionales (p.ej., industrias con altos niveles de consumo energético) que también se beneficien de un control optimizado.

Desarrollo de una plataforma en la nube, migración progresiva hacia una infraestructura en la nube para facilitar la escalabilidad, mejorar la seguridad y acceso remoto a sus datos y análisis.

Este enfoque en la actualización continua y el desarrollo tecnológico robusto permitirá al emprendimiento mantener una posición competitiva y responder eficazmente a las necesidades cambiantes del mercado energético.

8. ENTREVISTAS

Con el objetivo de enriquecer el análisis y validar la pertinencia de la solución propuesta, se realizaron dos entrevistas a expertos en áreas complementarias. Estas entrevistas buscaban obtener perspectivas tanto comerciales como técnicas, fundamentales para abordar los desafíos del manejo de datos de consumo energético y la implementación de técnicas de optimización basadas en IA.

Por un lado, Guillermo Varela, con un perfil orientado al ámbito comercial, aportó ideas sobre la obtención y el manejo de datos de consumo energético desde la perspectiva de los organismos públicos, así como las oportunidades y desafíos en la interacción con clientes privados. Por otro lado, Guillermo Moncecchi, con un enfoque técnico, profundizó en los aspectos metodológicos y tecnológicos del proyecto, destacando la aplicabilidad y efectividad del algoritmo de PSO para resolver problemas de optimización energética.

Ambas entrevistas ofrecieron información importante sobre los retos operativos y tecnológicos, así como las oportunidades de escalabilidad y mejora de la solución, lo que permitió validar el diseño conceptual y práctico de la propuesta.

8.1 ENTREVISTA 1

En la entrevista realizada al Sr. Guillermo Varela (18/11/24 - Anexo 2) se abordaron temas relacionados con la obtención y manejo de información de consumo energético para optimización de contratos. Algunos puntos destacados incluyen:

Obtención de datos:

Los organismos públicos como UTE, OSE y ANTEL proporcionan datos de consumo en formatos específicos como Excel, aunque en ocasiones estos son modificados o incompletos al pasar por diferentes oficinas internas, lo que complica el análisis.

La falta de estándares en los datos dificulta su procesamiento, especialmente cuando se transforma en formatos no editables como PDF.

Desafíos principales:

El acceso a información precisa y en formato adecuado es crítico.

En el caso de clientes privados aún no se ha trabajado intensivamente, aunque se visualiza como un área de oportunidad futura.

Proyección y próximos pasos:

Se contempla la expansión hacia empresas privadas grandes como cadenas de supermercados o farmacias.

La normalización de datos es esencial para la automatización y la optimización de los contratos energéticos.

Percepción de los clientes:

Los organismos públicos son consumidores significativos de energía, pero tienen procesos lentos y burocráticos.

Los clientes privados podrían ofrecer una mejor dinámica para implementar soluciones de optimización más rápidamente.

8.2 ENTREVISTA 2

La entrevista realizada al Ing. Guillermo Moncecchi (03/12/24 - Anexo 3) se abordaron temas relacionados con la optimización de contratos de energía eléctrica utilizando técnicas de IA, específicamente algoritmos de enjambre de partículas (PSO). Con respecto a las distintas tecnologías de IA, confirmó que la PSO es adecuada para encarar problemas de optimización como el actual. También estuvo de acuerdo en que el desarrollo es adaptable a otros tipos de consumos cambiando la función objetivo.

Se discutieron los siguientes puntos principales:

Contexto del Proyecto:

El enfoque está en ajustar contratos eléctricos para optimizar costos manteniendo el mismo consumo energético.

Se utilizan datos históricos de consumo y los pliegos tarifarios para modelar y resolver problemas de optimización.

Metodología:

Se empleó el algoritmo PSO debido a su capacidad para manejar problemas de optimización no lineales con múltiples variables y restricciones.

Los datos son pre-procesados y almacenados en un modelo estructurado que permite encapsular las reglas de negocio.

Resultados Observados:

El algoritmo PSO mostró una rápida convergencia hacia soluciones óptimas.

Se destacó la necesidad de ajustar iteraciones y tamaño del enjambre para mejorar la precisión.

Escalabilidad y Aplicación:

La solución desarrollada tiene potencial para ser aplicada en otros dominios más allá de los contratos de energía, como telefonía móvil o sistemas de tarifas complejas.

Valora que se puedan validar los resultados mediante el uso de planillas electrónicas (desarrolladas en la tesis) que simulan la facturación de UTE.

Proyección y Opinión: Consideró que la solución tiene futuro y relevancia, especialmente si se enfoca en la utilidad práctica y se demuestra con datos reales los beneficios económicos que puede ofrecer.

9. CONCLUSIÓN

A lo largo del desarrollo de esta tesis, se han cumplido los objetivos planteados inicialmente, demostrando que es posible diseñar y desarrollar una solución basada en técnicas de IA que optimice los contratos energéticos de grandes consumidores en entornos de incertidumbre. La investigación ha validado las hipótesis planteadas inicialmente, confirmando que la aplicación de IA no solo mejora la eficiencia y efectividad de los contratos energéticos, sino que también tiene el potencial de reducir costos y optimizar el uso de recursos al ajustar los contratos a la demanda real y proyectada.

La implementación de un enfoque basado en PSO permitió resolver problemas complejos de optimización no lineal con múltiples variables, lo que reafirma la viabilidad técnica y práctica de la solución desarrollada. Además, el modelo propuesto demostró ser escalable y adaptable a otros dominios, consolidando su aplicabilidad más allá del consumo energético.

Los datos fueron procesados y organizados en un modelo estructurado que encapsula las reglas de negocio relevantes, integrando aspectos tarifarios y de consumo histórico para maximizar la precisión en los resultados.

El algoritmo PSO mostró una rápida convergencia hacia soluciones óptimas, subrayando su efectividad en entornos de alta incertidumbre.

Se identificó la importancia de ajustar parámetros clave, como el número de iteraciones y el tamaño del enjambre, para afinar la precisión de las soluciones.

La validación a través de simulaciones confirmó ahorros significativos en costos energéticos, superando los métodos tradicionales de control manual.

La solución desarrollada no solo es aplicable al sector energético, sino que también tiene potencial para extenderse a otros dominios como telefonía móvil o sistemas de tarifas complejas, optimizando procesos que enfrentan desafíos similares. Este enfoque destaca el impacto de la IA en la gestión de recursos y la automatización.

Nuevos Enfoques

Se identificó una oportunidad de ahorro mediante controles específicos y procesamiento automático de consumos de energía eléctrica, en contraposición al enfoque manual actual, que presenta varios inconvenientes. Estos incluyen altos tiempos de procesamiento, propensión a errores de cálculo debido al gran volumen de datos, y la necesidad de conocimientos técnicos para interpretar correctamente los valores de los contratos eléctricos (como cargos fijos, franjas horarias y energía reactiva).

La automatización propuesta representa un valor agregado significativo al reducir los tiempos de procesamiento, minimizar los errores y democratizar el análisis al independizarlo del conocimiento técnico especializado.

Recomendaciones para el Futuro

De acuerdo con las observaciones realizadas, se recomienda incorporar controles adicionales, como los relacionados con los tipos de tarifa y el análisis de energía reactiva. Además, se sugiere llevar a cabo experimentos controlados en diferentes escenarios operativos para validar y ampliar los resultados obtenidos. Estas mejoras no solo fortalecerán la solución propuesta, sino que también facilitarán su adaptación a una mayor diversidad de casos de uso.

Además, se podría realizar un estudio de mercado y evaluar la viabilidad económica de lanzar este servicio de optimización, consolidando así una herramienta capaz de optimizar recursos y generar ahorros económicos sostenibles mediante la aplicación de tecnologías a problemas recurrentes.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alpaydin, E. (2020). *Introduction to Machine Learning*. MIT Press.
- Alvarez-Gayou Jurgenson, J. L. (2003). *Cómo Hacer Investigación Cualitativa: Fundamentos y Metodología*. Paidós Mexicana, Editorial, S.A.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2016). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Wiley.
- Chemin, Y.-H. (Ed.). (2024). *Genetic Algorithms: Theory, Design and Programming*. IntechOpen.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE Publications.
- Drori, I. (2022). *The Science of Deep Learning*. Cambridge University Press.
- Field, A. (2017). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. SAGE.
- Gan, G., Ma, C., & Wu, J. (2020). *Data Clustering: Theory, Algorithms, and Applications* (2nd Edition ed.). O'Reilly Media.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (P. Baptista Lucio, Ed.). McGraw-Hill Education.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning: With Applications in R*. Springer New York.
- Jin, Y. (2023). *Computational Evolution of Neural and Morphological Development: Towards Evolutionary Developmental Artificial Intelligence*. Springer Nature Singapore.
- Kotler, P., & Armstrong, G. (2012). *Marketing* (L. E. Pineda Ayala, Trans.). Pearson Educación.
- ¿Qué es la inteligencia artificial o IA? (n.d.). Google Cloud. Retrieved December 10, 2024, from <https://cloud.google.com/learn/what-is-artificial-intelligence?hl=es-419>

Transformando con energía nuestro país. (2018, April 20). UTE | Transformando con energía nuestro país. Retrieved December 12, 2024, from

<https://www.ute.com.uy/institucional/ute/quienes-somos>

Ventura, S., Luna, J. M., & Moyano, J. M. (Eds.). (2022). *Genetic Algorithms*. IntechOpen.

11. ANEXOS

ANEXO 1 - CRONOGRAMA

Planes

Preparación y revisión de literatura (Mes 1-2)

Objetivo: Establecer una base de conocimientos sobre la IA aplicada a la eficiencia energética y analizar trabajos previos relacionados

Acciones:

Revisión de la literatura existente en bases de datos académicas.

Identificación de las tecnologías de IA más relevantes para la optimización de consumos energéticos.

Procesamiento de datos (Mes 3-4)

Objetivo: en base a los datos actuales sobre el consumo de energía eléctrica de grandes clientes, definir un modelo de datos.

Acciones:

Recopilación de datos históricos y actuales de consumo de energía.

Definir herramienta para persistencia de los datos

Desarrollo de la prueba de concepto (Mes 5-6)

Objetivo: Diseñar e implementar una prueba de concepto para determinar la viabilidad y funcionalidad básica utilizando IA.

Acciones:

Desarrollo limitado: se creará una versión simplificada del software con las funcionalidades básicas.

Evaluación técnica: se realizarán pruebas iniciales y factibilidad técnica.

Redacción de la Tesis (Mes 1-6)

Objetivo: Compilar los resultados y análisis en un documento formal de tesis.

Acciones:

Redacción de los capítulos de la tesis: Introducción, Marco Teórico, Metodología, Resultados, Discusión y Conclusiones.

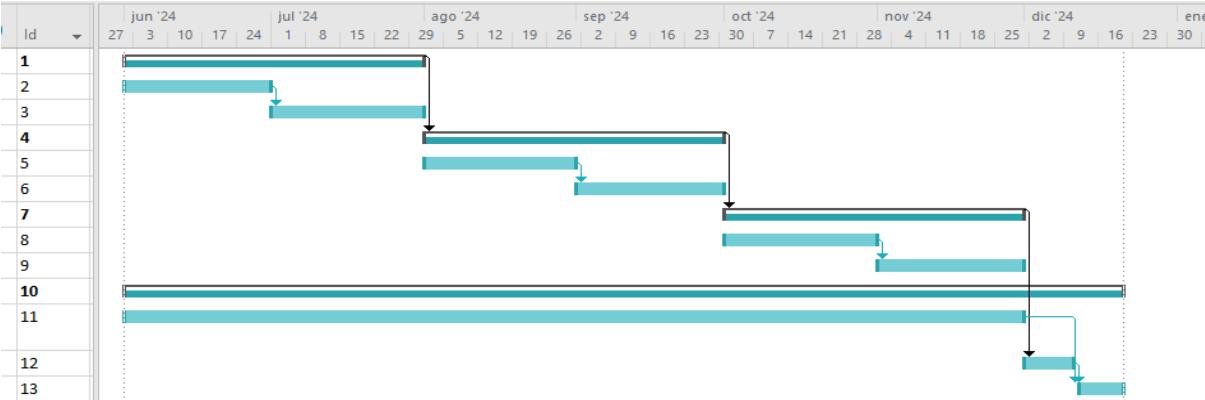
Evaluación de los resultados obtenidos en la prueba de concepto.

Preparación de la presentación para la defensa de la tesis.

Cronograma

Figura 11.1. - Cronograma

Id	Modo de	Nombre de tarea	Comienzo	Fin
1		1. Preparación y revisión de literatura (Mes 1-2)	sáb 1/6/24	mié 31/7/24
2		Revisión de la literatura existente en bases de datos académicas.	sáb 1/6/24	dom 30/6/24
3		Identificación de las tecnologías de IA más relevantes para la optimización de consumos energéticos.	lun 1/7/24	mié 31/7/24
4		2. Procesamiento de datos (Mes 3-4)	jue 1/8/24	lun 30/9/24
5		Recopilación de datos históricos y actuales de consumo de energía.	jue 1/8/24	sáb 31/8/24
6		Definir herramienta para persistencia de los datos	dom 1/9/24	lun 30/9/24
7		3. Desarrollo de la prueba de concepto (Mes 5-6)	mar 1/10/24	sáb 30/11/24
8		Desarrollo limitado: se creará una versión simplificada del software con las funcionalidades básicas.	mar 1/10/24	jue 31/10/24
9		Evaluación técnica: se realizarán pruebas iniciales y factibilidad técnica.	vie 1/11/24	sáb 30/11/24
10		4. Redacción de la Tesis (Mes 1-6)	sáb 1/6/24	vie 20/12/24
11		Redacción de los capítulos de la tesis: Introducción, Marco Teórico, Metodología, Resultados, Discusión y Conclusiones.	sáb 1/6/24	sáb 30/11/24
12		Evaluación de los resultados obtenidos en la prueba de concepto.	dom 1/12/24	mié 11/12/24
13		Preparación de la presentación para la defensa de la tesis.	jue 12/12/24	vie 20/12/24



ANEXO 2 - ENTREVISTA GUILLERMO VARELA

Cuestionario con preguntas y respuestas realizadas en la entrevista con Guillermo Varela (18/11/2024):

1. **Pregunta:** ¿Por qué comenzaron trabajando con organismos públicos?
 - **Respuesta:** Porque son grandes consumidores de energía y era más sencillo acceder inicialmente a su información. Sin embargo, sus procesos suelen ser lentos y burocráticos.
2. **Pregunta:** ¿Qué planes tienen para expandir el servicio?
 - **Respuesta:** Planeamos trabajar con grandes empresas privadas, como supermercados o farmacias, donde vemos un potencial significativo para la optimización energética.
3. **Pregunta:** ¿Cómo normalizan los datos obtenidos para el análisis?
 - **Respuesta:** Se intenta mantener los datos en su formato original. Sin embargo, cuando llegan distorsionados, se necesita realizar procesos manuales para reconstruir la información necesaria.
4. **Pregunta:** ¿Qué tipo de datos son más útiles para su análisis?
 - **Respuesta:** Datos como potencia contratada, consumo en tiempo real, tipo de tarifa y penalizaciones por reactiva son fundamentales para optimizar contratos y reducir costos.
5. **Pregunta:** ¿Qué tan viable consideran trabajar con clientes privados?
 - **Respuesta:** Muy viable. Aunque aún no hemos trabajado con ellos, creemos que serán más receptivos y tendrán procesos más directos.
6. **Pregunta:** ¿Cómo abordan las limitaciones técnicas y de recursos?
 - **Respuesta:** Actualmente, dependemos de un equipo reducido y herramientas manuales, pero estamos desarrollando software especializado para automatizar y agilizar el análisis.
7. **Pregunta:** ¿Qué valor aporta su servicio a los clientes?
 - **Respuesta:** Permite identificar desvíos en el consumo habitual, optimizar contratos energéticos y lograr ahorros significativos en costos.
8. **Pregunta:** ¿Qué resultados han obtenido hasta ahora?
 - **Respuesta:** Hemos identificado ahorros significativos en algunos organismos públicos al ajustar potencias contratadas y optimizar tarifas, pero aún queda mucho por desarrollar.

ANEXO 3 - ENTREVISTA GUILLERMO MONCECCHI

Cuestionario con preguntas y respuestas realizadas en la entrevista con Guillermo Moncecchi (03/12/2024):

1. **Pregunta:** ¿Es posible aplicar esta metodología en otros sectores?
 - **Respuesta:** Sí, la metodología es escalable y puede adaptarse a otros sectores, como telecomunicaciones, cambiando las reglas de negocio.
2. **Pregunta:** ¿Qué mejoras podrían implementarse?
 - **Respuesta:** Incorporar comparativas con otros algoritmos de optimización de programación estándar.
3. **Pregunta:** ¿Qué desafíos has enfrentado en el desarrollo de proyectos similares?
 - **Respuesta:** Pre-procesar grandes volúmenes de datos y ajustar el algoritmo para lograr el equilibrio entre precisión y eficiencia computacional. El costo mayor siempre se encuentra en donde no se ve, por ej. en el pre-procesamiento de los datos, y su acondicionamiento.
4. **Pregunta:** ¿Qué opinas sobre la importancia de encapsular las reglas de negocio?
 - **Respuesta:** Es fundamental para permitir que la solución sea reutilizable y adaptable a diferentes contextos y problemas.
5. **Pregunta:** ¿Qué beneficios observas en este trabajo?
 - **Respuesta:** La metodología podría ayudar a reducir costos energéticos y aumentar la competitividad en sectores público y privado.
6. **Pregunta:** ¿Qué impacto puede tener este enfoque en el futuro?
 - **Respuesta:** Puede transformar cómo las empresas y organismos públicos gestionan sus contratos energéticos, con un enfoque más eficiente y basado en datos.

ANEXO 4 - SOLICITUDES DE ACCESO A INFORMACIÓN PÚBLICA

A continuación se listan las solicitudes cursadas mediante el amparo de la Ley N° 18.381.

Solicitud 1 Intendencia de Montevideo	- Buenas tardes, por medio de la presente se solicitan: * Listados electrónicos de consumos de UTE del año 2023 y lo recibido hasta el momento del presente año. * Listados electrónicos de consumos de Telefonía Móvil de Antel del año 2023 y lo recibido hasta el momento del presente año. Los datos solicitados serán utilizados con fines académicos, en el marco de una Tesis de Maestría. Desde ya quedo a las órdenes por cualquier aclaración en relación a los datos solicitados. Muchas gracias.
---	---

Respuesta 1

Estimado/a:

De nuestra mayor consideración:

La respuesta a su solicitud de acceso a la información, **Expediente N° 2024-1090-98-001463**, se encuentra disponible para su consulta o copia en la UAI

El horario de atención es de Lunes a Viernes de 10.30 a 15.30 hs.

Traer pendrive para la información

Saluda Atte,

Luna Gonzalez

Unidad de acceso a la información

Secretaria General-Intendencia de Montevideo

18 de julio 1360- 2° piso- Puerta N° 2084

Teléfonos: 1950 9978/ 9979

Solicitud 2 - UTE	Estimados, Por medio de la presente, solicitamos la siguiente información: Cantidad de clientes privados, distribuidos por departamento, que reciben mensualmente listados electrónicos de sus consumos eléctricos en formato XLSX. Nos referimos a los listados proporcionados a grandes consumidores, como los enviados a Intendencias Departamentales y demás Entes. Para los clientes mencionados en el punto anterior, solicitamos el promedio de suministros contratados. Los datos solicitados serán utilizados con fines académicos, en el marco de una Tesis de Maestría. Quedamos a disposición para cualquier aclaración o información adicional que sea necesaria en relación con esta solicitud. Agradecemos de antemano su colaboración y quedamos atentos a su respuesta.
-------------------	---

Respuesta 2

En respuesta a vuestra solicitud, se traslada -en adjunto- copia de la R 24.-1138 de 21-11-24, en la que consta la información remitida por nuestra Gerencia Comercial.

Además, teniendo en cuenta lo dispuesto por la referida Resolución, les agradecemos nos puedan remitir el resultado del trabajo que se encuentran realizando una vez que lo hayan finalizado.

Registro e Información Documental
Secretaría General – UTE

Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas
Directorio

- 1 -

ACTA:.....HOJA:.....

//tevideo, 21 de noviembre de 2024.-

R 24.-1138

VISTO el expediente EE24006759, en el que el Sr. Wiston PATIÑO solicita, al amparo de la Ley n.º 18.381 de Acceso a la Información Pública, información respecto a la cantidad de clientes privados que reciben mensualmente listados electrónicos de sus consumos eléctricos en formato XLSX; -----

RESULTANDO Que el Sr. PATIÑO manifiesta que la solicitud se realiza a efectos de la realización de una tesis de maestría y consiste en: -----

- a) Cantidad de clientes distribuidos por departamento que reciben mensualmente listados electrónicos de sus consumos eléctricos en formato XLSX; refiriéndose a los listados proporcionados a grandes consumidores, Intendencias Departamentales y demás Entes; -----
- b) Para dichos clientes solicita el promedio de suministros contratados, -----

CONSIDERANDO: I) que el 15-11-24 la Gerencia Comercial adjuntó los cuadros con los datos genéricos correspondientes al mes de setiembre de 2024, que lucen como ANEXO I y II de la presente, en los cuales se detalla: -----

- a) Cantidad de clientes; -----
- b) Documentos y Promedio por departamento y por categoría, definidas en Municipal, Oficial y Particular; -----

II) que el 01-11-24 la Gerencia Asesoría Técnico Jurídica informó que puede brindarse la información siempre que de la misma no puedan identificarse clientes; -----

III) el acuerdo del 14-11-24 del Gerente General, -----

RE113824-21112024-A18589-1/5



- 2 -

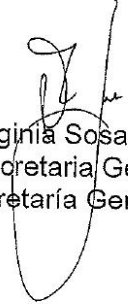
EL DIRECTORIO DE U.T.E RESUELVE: -----

--1°.- Trasladar en respuesta al solicitante, copia de la presente. -----

--2°.- Instar al solicitante a remitir a esta Administración el resultado del trabajo una vez finalizado. -----

Cumplase por Registro e Información Documental lo dispuesto; hecho, archívese. -----

RE113824 EE24006759


Lic. Ec. Virginia Sosa Cabrera
Pro - Secretaria General
e/f Secretaría General


Ing. Silvia Emaldi
Presidente

RE113824-21112024-A18589-2/5



Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas
Directorio

- 3 -

ACTA:.....HOJA:.....

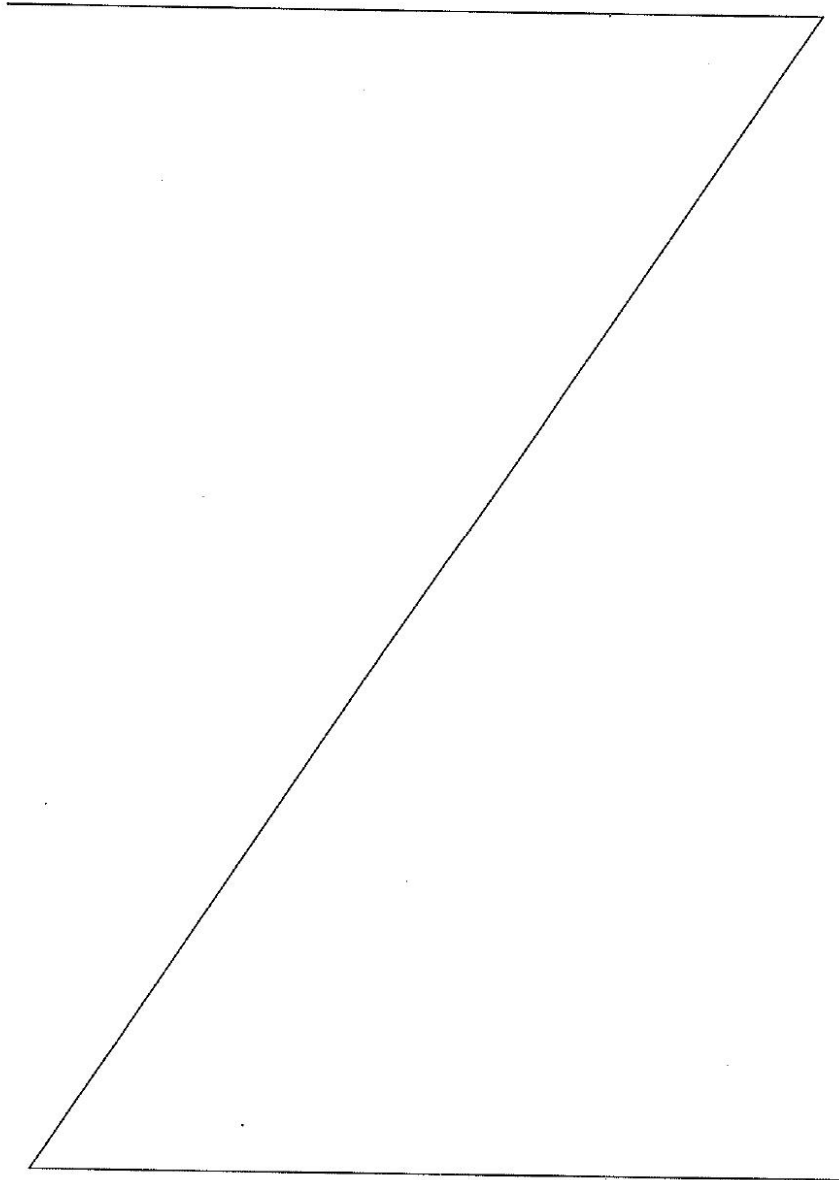
ANEXO I
Cantidad de clientes que reciben listados en formato XLSX

CLIENTES	Departamento	Cantidad Clientes	Cantidad Documentos	Promedio (Doc./Ctes)
Oficiales incluidos				
Entes Autónomos	MONTEVIDEO	56	19304	345
Intendencias	ARTIGAS	1	248	248
Intendencias	CANELONES	1	1910	1910
Intendencias	CERRO LARGO	1	402	402
Intendencias	COLONIA	1	626	626
Intendencias	DURAZNO	1	336	336
Intendencias	FLORES	1	191	191
Intendencias	FLORIDA	1	324	324
Intendencias	LAVALLEJA	1	328	328
Intendencias	MALDONADO	1	904	904
Intendencias	PAYSANDU	1	357	357
Intendencias	RIO NEGRO	1	312	312
Intendencias	RIVERA	1	276	276
Intendencias	ROCHA	1	469	469
Intendencias	SALTO	1	482	482
Intendencias	SAN JOSE	1	453	453
Intendencias	SORIANO	1	491	491
Intendencias	TACUAREMBO	1	441	441
Intendencias	TREINTA Y TRES	1	275	275
Intendencias	MONTEVIDEO	1	2512	2512
Particulares	MALDONADO	60	4664	78
Particulares	MONTEVIDEO	25	2647	106
Particulares	ROCHA	1	18	18
TOTAL		161	37970	11883

RE113824-21112024-A18589-3/5



- 4 -



RE113824-21112024-A18589-4/5


Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas
Directorio

- 5 -

ACTA:.....HOJA:.....

ANEXO II
Cantidad de Contratos por tipo de Clientes por
Departamento

DEPARTAMENTO	MUNICIPAL	OFICIAL	PARTICUL	TOTAL
ARTIGAS	256	549	31,485	32,290
CANELONES	1,933	2,451	263,897	268,281
CERRO LARGO	416	708	41,117	42,241
COLONIA	634	966	71,543	73,143
DURAZNO	344	627	27,833	28,804
FLORES	189	229	12,600	13,018
FLORIDA	328	652	33,822	34,802
LAVALLEJA	327	504	30,829	31,660
MALDONADO	922	1,239	153,964	156,125
MONTEVIDEO	2,598	5,683	590,076	598,357
PAYSANDU	358	685	50,162	51,205
RIO NEGRO	316	453	24,323	25,092
RIVERA	281	693	42,980	43,954
ROCHA	486	876	51,602	52,964
SALTO	487	599	50,942	52,028
SAN JOSE	452	922	51,768	53,142
SORIANO	493	561	37,531	38,585
TACUAREMBO	464	751	43,500	44,715
TREINTA Y TRES	278	387	22,760	23,425
TOTAL	11,562	19,535	1,632,734	1,663,831

2

RE113824-21112024-A18589-5/5



Solicitud 3 - Obras Sanitarias del Estado	Buenas tardes, por medio de la presente se solicitan: * Listados electrónicos de consumos de UTE del año 2023 y lo recibido hasta el momento del presente año. Nos referimos a los listados originales enviados mensualmente por UTE en formato XLSX. * Listados electrónicos de consumos de Telefonía Móvil de Antel del año 2023 y lo recibido hasta el momento del presente año. Los datos solicitados serán utilizados con fines académicos, en el marco de una Tesis de Maestría. Desde ya quedo a las órdenes por cualquier aclaración en relación a los datos solicitados. Muchas gracias.
--	--

Respuesta 3

Se ha tramitado su Solicitud de Información Pública - N° 03331
La información será enviada por la Oficina de Notificaciones - Secretaría General

Atte.

Gestión de la Información
Gerencia Jurídico Notarial
Carlos Roxlo 1275, 5to.piso, of. 37 - Tel: 1952 1817
e-mail: gestiondelainformacion@ose.com.uy

ANEXO 5 - DETALLE DE CÁLCULOS

Anexo 5.1

Cuenta	127121000
Potencia contratada	900 KW
Potencia óptima	544 KW
Costo kwh	\$272,50

Simulación de Factura con Potencia Contratada 900 kW

Tabla 11.1. - Cálculos de facturación - Ejemplo 1

Calculo Factura - Potencia Contratada				
Contratado/2	Contratado/2 ≤ C ≤ Contratado	Exceso F1	Exceso F2	TOTAL KW
450	93,6	0	0	543,6
450	56,4	0	0	506,4
450	0	0	0	450
450	27,6	0	0	477,6
450	0	0	0	450
450	0	0	0	450
450	42	0	0	492
450	51,6	0	0	501,6
450	0	0	0	450
450	0	0	0	450
450	15,6	0	0	465,6
450	66	0	0	516
			Total	5753 KW

Penalización	
Franja 1	2
Franja 2	4

Simulación de Factura con Potencia Óptima 544 kW

Tabla 11.2. - Cálculos de facturación de potencia óptima - Ejemplo 1

Calculo Factura - Potencia Óptima				
Contratado/2	Contratado/2 ≤ C ≤ Contratado	Exceso F1	Exceso F2	TOTAL KW
272	271,6	0	0	543,6
272	234,4	0	0	506,4
272	133,6	0	0	405,6
272	205,6	0	0	477,6
272	149,2	0	0	421,2
272	80,8	0	0	352,8
272	220	0	0	492
272	229,6	0	0	501,6
272	92,8	0	0	364,8
272	136	0	0	408
272	193,6	0	0	465,6
272	244	0	0	516
			Total	5455 KW

Anexo 5.2

Cuenta	4985660000
Potencia contratada	18 kWh
Potencia óptima	29 kWh
Costo kwh	\$380,10

Simulación de Factura con Potencia Contratada 18 kWh

Tabla 11.3. - Cálculos de facturación - Ejemplo 2

Calculo Factura - Potencia Contratada				
Contratado/2	Contratado/2 ≤ C ≤	Exceso F1	Exceso F2	TOTAL KW
9	9	8,02	0	26,02
9	6,66	0	0	15,66
9	8,49	0	0	17,49
9	5,34	0	0	14,34
9	9	15,38	0	33,38
9	9	20,34	0	38,34
9	9	21,52	0	39,52
9	9	15,9	0	33,9
9	9	7,86	0	25,86
9	6,05	0	0	15,05
9	9	0,96	0	18,96
9	9	7,3	0	25,3
			Total	304 KW

Penalización	
Franja 1	2
Franja 2	4

Simulación de Factura con Potencia Optima 29 kW

Tabla 11.4. - Cálculos de facturación de potencia óptima - Ejemplo 2

Calculo Factura - Potencia Óptima				
Contratado/2	Contratado/2 ≤ C ≤	Exceso F1	Exceso F2	TOTAL KW
14,5	7,51	0	0	22,01
14,5	1,16	0	0	15,66
14,5	2,99	0	0	17,49
14,5	0	0	0	14,5
14,5	11,19	0	0	25,69
14,5	13,67	0	0	28,17
14,5	14,26	0	0	28,76
14,5	11,45	0	0	25,95
14,5	7,43	0	0	21,93
14,5	0,55	0	0	15,05
14,5	3,98	0	0	18,48
14,5	7,15	0	0	21,65
			Total	255 KW