

Optimización matemática en el ámbito de la transición energética

Pablo Lagoa Loureiro
Máster en Técnicas Estadísticas
Curso 2025-2026

En el presente documento se resume el Trabajo de Fin de Máster titulado “Optimización matemática en el ámbito de la transición energética”. No se autoriza la publicación de dicho trabajo en la web del Máster por motivos de confidencialidad fruto del contrato entre el Centro de Investigación y Tecnología Matemática de Galicia (CITMaga) y la empresa Repsol.

Introducción y motivación del trabajo

En el actual escenario de emergencia climática, la transición hacia una economía descarbonizada se ha consolidado como el mayor desafío estratégico para el sector energético global. Dentro de este proceso, la producción de combustibles renovables de baja huella de carbono se presenta como una solución crítica para reducir las emisiones. Sin embargo, la integración de estas nuevas materias primas introduce una complejidad operativa sin precedentes, marcada por diversas normativas ambientales.

Para articular esta transición, la Unión Europea ha impulsado un marco legislativo que redefine los límites de la industria energética. En este contexto, la optimización matemática emerge como una herramienta indispensable, permitiendo transformar restricciones técnicas y objetivos de sostenibilidad en decisiones operativas eficientes. Bajo esta premisa surge el presente Trabajo de Fin de Máster, orientado a la mejora y evolución de los sistemas de ayuda a la decisión en el marco de la transición energética.

Esta memoria se desarrolla en un ecosistema de colaboración estrecha entre el ámbito académico y el industrial, fruto de la cooperación entre el Centro de Investigación y Tecnología Matemática de Galicia (CITMaga) y Repsol.

Desde una perspectiva personal y profesional, este proyecto es el resultado de una inmersión prolongada en el equipo de optimización resultante del acuerdo anterior entre CITMaga y Repsol. El proceso comenzó durante un periodo de prácticas extracurriculares que finalizó en julio de 2025, donde me familiaricé con el entorno de desarrollo y el modelo matemático implementado hasta el momento, y ha tenido su culminación en las prácticas curriculares vinculadas a la Modalidad B de este máster.

Esta memoria documenta las actividades realizadas, integrando la base teórica del máster en formulación de restricciones y propiedades de los distintos problemas de optimización con su aplicación técnica. En ella se detalla la transición desde el planteamiento matemático hacia tareas prácticas de desarrollo de código, gestión de bases de datos y visualización de resultados, con el fin de consolidar una herramienta operativa y eficiente.

Objetivos del estudio realizado

La finalidad central de este Trabajo de Fin de Máster es el desarrollo evolutivo de la versión optimizada de una planta de biocombustibles (que está centrada en la elaboración de productos de venta BIO), con el objetivo de progresar hacia una implementación plenamente funcional e integrada dentro del sistema global de optimización en un futuro.

Es importante precisar que, debido a la magnitud y la complejidad del modelo global de optimización utilizado en el entorno de producción, este trabajo presenta una simplificación funcional del mismo. Esta decisión responde a un doble objetivo: por un lado, garantizar la manejabilidad pedagógica de los resultados y, por otro, centrar el análisis en los módulos de mayor impacto reciente, como la integración de la planta de biocombustibles. Aunque se presenta una versión simplificada, el modelo mantiene el rigor matemático necesario para validar los objetivos planteados. Esto permite analizar el comportamiento del sistema de forma profunda sin la excesiva complejidad del modelo real de la generación de combustibles.

Una vez introducido el modelo global a través de una formulación simplificada, en la memoria recogemos una descripción detallada del funcionamiento de la planta de biocombustibles, puesto que actúa de forma independiente al resto de complejos presentes en el problema de optimización.

Por lo tanto, para la correcta integración en el modelo de optimización del problema general, se creó una primera versión determinista, donde toda la información relativa a la planta es tratada como datos de entrada y el modelo no tiene capacidad de decisión sobre esta unidad. Seguidamente, comenzó la implementación de una versión optimizada en la que está centrado este trabajo.

Metodología de la solución propuesta

En la memoria, presentamos el proceso de incorporación de nuevos elementos necesarios para el correcto funcionamiento del modelo que, a falta de algunas limitaciones, dan lugar a una primera versión funcional del problema de optimización que incluye a la planta de biocombustibles.

Para ello, describimos también el entorno de desarrollo empleado. El flujo de trabajo se basa en tres pasos: primero, se usan plantillas de Excel para introducir los datos operativos. Después, un código desarrollado en Python se encarga de realizar la optimización matemática de la planta. Finalmente, los resultados se envían a Power BI para poder analizarlos visualmente de forma rápida.

El primer paso de la solución propuesta consiste en implementar en el código la opción de optimizar la planta de biocombustibles, lo que permitirá por primera vez realizar ejecuciones en las que se incluye su optimización, pues hasta el momento la unidad estaba modelada en modo determinista. Además, subimos las primeras soluciones a la base de datos para así poder visualizar los resultados en Power BI.

A partir de los resultados observados, incorporamos nuevos elementos relacionados con el almacenamiento de productos finales al modelo y realizamos un análisis de su comportamiento en función de sus valores. Añadimos también nuevas variables y restricciones relativas a los distintos modos de operación en los que se puede utilizar la planta de biocombustibles y a su organización temporal.

Las principales técnicas empleadas a lo largo del proyecto para integrar estos nuevos elementos en el modelo son el uso de restricciones utilizando M grande, la reformulación lineal de restricciones cuadráticas, el análisis de sensibilidad de restricciones saturadas o la inclusión de variables binarias o enteras para modelizar distintos escenarios.

Es fundamental subrayar que el desarrollo de las tareas anteriormente descritas no busca realizar una exploración teórica de algoritmos de optimización, sino que responde a la modelización de un problema de optimización realista. El enfoque de este proyecto es, por lo tanto, enteramente aplicado, priorizando la creación de una herramienta funcional que sea capaz de operar bajo las restricciones y flujos de datos reales de un entorno industrial.

Así, la complejidad de esta actividad no reside únicamente en la formulación matemática de las nuevas restricciones, sino en la integración robusta de estos elementos con el resto de componentes del sistema, desde la conexión con bases de datos y la visualización en Power BI, hasta la resolución de infactibilidades operativas.

Por otra parte, también es necesario destacar que las herramientas que se desarrollan a lo largo de la memoria están orientadas a problemas de una gran magnitud, como es nuestro caso. La alta cantidad de elementos del modelo dificulta enormemente la posibilidad de analizar cada variable o restricción individualmente, lo que obliga a explorar vías alternativas para entender el funcionamiento completo del modelo y localizar sus infactibilidades. Para ilustrar esta casuística, incluimos también un estudio del tamaño del problema de optimización, prestando especial atención a los elementos recién incorporados.

Por último, realizamos un compendio de todas las nuevas funcionalidades del modelo y proponemos algunas opciones con el fin de flexibilizar las condiciones ya añadidas, mejorar el rendimiento computacional o modelizar nuevas situaciones que podrían resultar de interés en el futuro.