

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

Retos, oportunidades y soluciones para transformar
las operaciones en el sector energético



Índice

Índice	1
1 Resumen ejecutivo	4
1.1 Introducción al propósito del documento	4
1.2 Sobre el autor	4
1.3 Resumen de los principales retos en la industria energética	4
1.3.1 Sostenibilidad y Medio Ambiente.....	4
1.3.2 Transformación e Innovación Tecnológica	5
1.4 Descripción breve de las soluciones de digitalización propuestas	5
2 Panorama de la industria energética española	7
2.1 Tendencias.....	7
2.2 Importancia de la digitalización y la analítica avanzada	8
3 Retos en la industria energética.....	10
3.1 Eficiencia operativa y reducción de costes	10
3.2 Integración de energías renovables	11
3.3 Mantenimiento predictivo y gestión de activos	12
3.4 Cumplimiento regulatorio y sostenibilidad.....	13
3.4.1 Inversiones en redes y su regulación	14
3.5 Gestión de datos y seguridad	15
4 Monitorización en tiempo real	17
4.1 AVEVA PI System	17
4.2 Características de AVEVA PI System.....	18
4.3 Beneficios y aplicaciones en la industria energética.....	19
4.4 Casos de uso y ejemplos prácticos	20
5 Analítica avanzada e Inteligencia Artificial	22
5.1 Definición y alcance de la analítica avanzada e IA	22
5.1.1 Disciplinas de la analítica avanzada	22
5.1.1.1 Análisis descriptivo	22
5.1.1.2 Análisis predictivo.....	22
5.1.1.3 Análisis prescriptivo.....	23
5.1.1.4 Análisis en tiempo real	24
5.1.2 Inteligencia Artificial y su ubicación en la analítica avanzada.....	25
5.2 Aplicaciones específicas en la industria energética	26
5.2.1 Operaciones.....	27

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

5.2.1.1	Automatización y minería de procesos.....	27
5.2.1.2	Optimización del Unit Commitment:.....	28
5.2.1.3	Optimización de redes eléctricas:	28
5.2.2	Mantenimiento	28
5.2.2.1	Optimización de rutas de mantenimiento	29
5.2.2.2	Mantenimiento predictivo	29
5.2.2.3	Gestión de activos	29
5.2.2.4	Gemelo digital de instalaciones.....	30
5.2.3	Logística.....	30
5.2.3.1	Modelo de previsión de demanda	30
5.2.3.2	Optimización de rutas de abastecimiento	31
5.2.3.3	Gestión óptima de almacenaje	32
5.2.3.4	Optimización de carga en transportes	32
5.2.3.5	Planificación logística de gas.....	32
5.2.4	Renovables	33
5.2.4.1	Optimización de layout de parques eólicos offshore	33
5.2.4.2	Optimización de energías renovables:	33
5.2.5	Trading.....	34
5.2.5.1	Modelos analíticos de participación en mercados eléctricos	34
5.2.6	Sostenibilidad y eficiencia.....	35
5.2.6.1	Modelos analíticos de eficiencia energética en instalaciones	35
5.2.7	RRHH.....	36
5.2.7.1	Prevención de accidentes y riesgos laborales	36
5.2.8	Ventas y atención al cliente.....	38
5.2.8.1	Predicción y optimización	38
5.2.8.1.1	Optimización de acciones comerciales	38
5.2.8.1.2	Predicción de fuga de clientes	39
5.2.8.2	Casos de uso de IA Generativa	39
5.2.9	Compliance.....	40
5.2.9.1	Automatización de informes para el regulador	40
5.3	Cómo complementar monitorización en tiempo real con analítica avanzada	40
6	Casos de éxito	42
6.1	Modelo de optimización de parques eólicos	42
6.2	Modelos predictivos para la participación en mercados eléctricos	42
6.3	Optimización de servicios de mantenimiento.....	43

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

6.4	Análisis predictivo para la generación eólica.....	43
6.5	Detección de anomalías para la distribución eléctrica	44
6.6	Optimización de procesos para el refino de petróleo	44
6.7	(Relacionado) Optimización de procesos de logística inversa.....	44
6.8	(Relacionado) Optimización de la red de plantas de separación de residuos.....	45
7	Beneficios para las empresas del sector energético	47
8	Hoja de ruta para la implementación	48
8.1	Pasos para la integración de soluciones	48
8.2	Recomendaciones para una transición con éxito	48
8.3	Consideraciones de gestión del cambio	49
9	Conclusiones y contacto.....	50
10	Referencias.....	51
11	Anexo: Principales actores y sus roles.....	52
12	Anexo: El caso de la modernización de contadores de electricidad	56

1 Resumen ejecutivo

1.1 Introducción al propósito del documento

Este documento analiza la información disponible sobre las estrategias y prioridades de digitalización de varias empresas representativas del sector energético de España, y sugiere casos de uso y soluciones del portfolio de [Decide Soluciones](#) y [Ceteck Tecnológica](#). Las fuentes son las recogidas en el apartado 10, eventos y presentaciones de representantes de las empresas citadas.

El documento se centrará en dos aspectos clave de las soluciones digitales: la monitorización y la analítica avanzada. Otros aspectos, como la ciberseguridad o las comunicaciones, no entran en su alcance y se tratarán en otros documentos.

1.2 Sobre el autor



Julio Lema es un consultor de marketing, ventas y estrategia para empresas en los diferentes eslabones de la cadena de valor de Digitalización: IoT, Monitorización, Ciberseguridad, Analítica Avanzada e Innovación.

Para información actualizada, visite juliolema.com

1.3 Resumen de los principales retos en la industria energética

Las estrategias de las empresas del sector de la energía en España se pueden categorizar en dos grupos.

1.3.1 Sostenibilidad y Medio Ambiente

Estas prioridades están centradas en mejorar el impacto ambiental de la empresa, promover la sostenibilidad y alinearse con los objetivos globales de desarrollo sostenible.

- **Inversiones sostenibles:** Destinar recursos a proyectos que promueven la sostenibilidad a largo plazo.
- **Reducción de emisiones y descarbonización:** Disminuir la huella de carbono y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Producción de hidrógeno verde y biocombustibles:** Fomento de la producción y uso de hidrógeno verde y biocombustibles como fuentes de energía limpia.
- **Despliegue agresivo de renovables:** Expansión rápida y amplia de la capacidad de generación de energías renovables, como solar y eólica.
- **Sostenibilidad y economía circular:** Promover el reciclaje, la reutilización y la reducción de residuos, apoyando la economía circular.
- **Compromiso con los ODS:** Alineación de las operaciones y estrategias empresariales con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

- **Compromisos ESG (Ambientales, Sociales y de Gobernanza):** Adopción de prácticas y políticas que promuevan el desempeño ambiental, social y de gobernanza.

1.3.2 Transformación e Innovación Tecnológica

Estas prioridades se enfocan en la modernización de infraestructuras y la implementación de tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y fiabilidad operativa.

- **Digitalización y electrificación de redes de distribución:** Implementación de tecnologías digitales y soluciones para electrificar y mejorar las redes de distribución de energía.
- **Eficiencia energética y soluciones innovadoras:** Desarrollo e implementación de tecnologías y prácticas que mejoren la eficiencia energética y promuevan la innovación.
- **Ecosistemas de movilidad y energía sostenibles:** Desarrollo de soluciones y tecnologías que fomentan la movilidad sostenible y la energía limpia.
- **Renovación de refinerías:** Para las empresas que tradicionalmente operan en Oil & Gas, actualización y adecuación de las refinerías para mejorar su eficiencia y sostenibilidad.

1.4 Descripción breve de las soluciones de digitalización propuestas

Existe un amplio abanico de soluciones compatibles con algunas de las líneas estratégicas citadas. Este documento se centrará en las soluciones específicas de monitorización y analítica avanzada, incluyendo la IA.

La **monitorización industrial** en el marco de la Industria 4.0 es un aspecto clave para el sector energético. Con la implementación de sistemas avanzados de monitorización e instrumentación, como el AVEVA Pi System, las empresas pueden recopilar y analizar datos en tiempo real para optimizar sus operaciones y mejorar su eficiencia energética. Esto permite a las empresas reducir costos, aumentar la sostenibilidad y mejorar su competitividad en el mercado. Además, es la puerta de entrada para la aplicación de técnicas de analítica avanzada e IA, que precisan datos de calidad para ser efectivas.

La **analítica avanzada** es un conjunto integral de técnicas y métodos analíticos que incluyen Big Data, Inteligencia Artificial, Machine Learning, Investigación Operativa, entre otros. Estas técnicas permiten un mejor análisis predictivo y prescriptivo, y proporcionan información sobre el cambio a medida que se produce, lo que permite a las organizaciones elaborar mejores respuestas y actuar en base a pronósticos y planes más precisos.

Aparte del muy popular aprendizaje automático o Machine Learning, cabe destacar la optimización matemática o investigación operativa. La optimización matemática es el proceso de encontrar la mejor solución posible para un problema dado, sujeto a ciertas restricciones. En el contexto de la digitalización y la Industria 4.0, la optimización matemática se aplica a diversos problemas que involucran grandes cantidades de datos, recursos limitados, incertidumbre y complejidad. Por ejemplo, la optimización matemática puede ayudar a las empresas energéticas a planificar la producción, distribución y consumo de energía, minimizando los costos y las emisiones de CO₂, maximizando la fiabilidad y la calidad del servicio, y adaptándose a las condiciones cambiantes del mercado y del entorno. La optimización matemática se basa

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

en modelos matemáticos que describen el comportamiento de los sistemas, así como en algoritmos computacionales que resuelven estos modelos de forma eficiente. Cuenta con la particularidad de que no siempre necesita gran cantidad de datos para proporcionar una solución matemáticamente sólida, pudiendo funcionar con reglas de operación.

En el sector que nos ocupa, la analítica avanzada se suma a la monitorización industrial al facilitar a las empresas el reconocimiento de patrones, tendencias y relaciones que no se aprecian a simple vista, lo que les ayuda a tomar decisiones más basadas en datos y estrategia.

Existe una multitud de casos de uso concretos en el sector de la energía que combinan la monitorización en tiempo real y la analítica avanzada para mejorar la eficiencia y la rentabilidad.

Por ejemplo, en el caso de las redes inteligentes, la tecnología de IA permite a los proveedores energéticos gestionar de forma más eficiente las caídas del servicio, optimizar el voltaje, detectar picos de demanda y parametrizar el comportamiento concreto de algunos clientes o ciudades.

Otro caso de uso es la anticipación de la demanda de electricidad en entornos urbanos o industriales, lo que permite ajustar la producción a cada necesidad particular. Además, la IA también puede utilizarse para el mantenimiento predictivo de las redes de distribución eléctrica, permitiendo detectar cuándo los componentes están a punto de estropearse y resolver el posible incidente antes de que se produzca un fallo grave. Esta información se puede recoger directamente de los equipos, pero también a partir de imágenes o mapas de puntos LIDAR de infraestructuras y sus alrededores, es decir torres, cables, transformadores, así como vegetación, tipo de suelo, construcciones, etc.

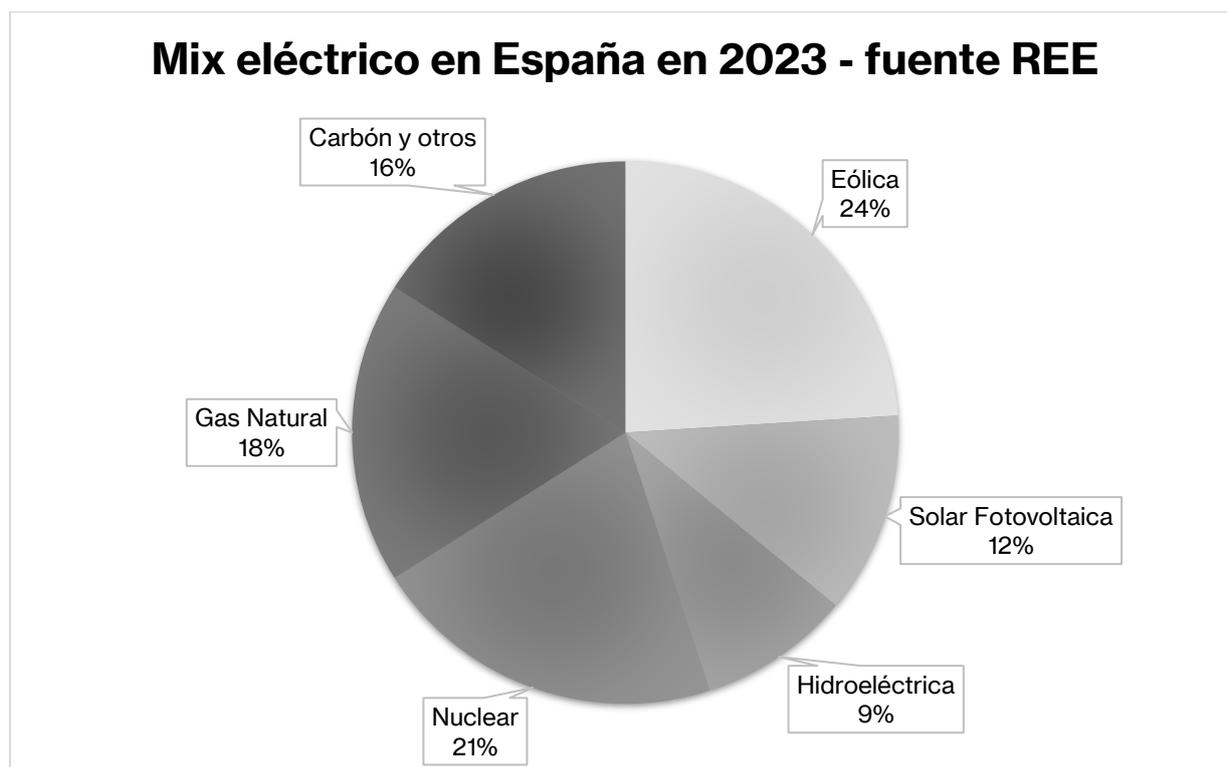
2 Panorama de la industria energética española

Situación del mercado en 2024

La situación actual del mercado energético en España presenta varios aspectos relevantes. Históricamente, España se ha caracterizado por su escasez de recursos energéticos, principalmente combustibles fósiles. Esto ha resultado en una gran dependencia exterior y, por ende, un déficit energético. Según Eurostat, en 2021, el grado de dependencia energética exterior en España fue de aproximadamente el 69,1%. Esto significa que el país importó alrededor de dos terceras partes de la energía primaria consumida, con un autoabastecimiento que solo llegó al 31%.

En cuanto al consumo de energía final, en 2021 superó las 80.000 kilotoneladas equivalentes de petróleo (ktep). Los productos petrolíferos representaron el 48,2% del consumo, mientras que la electricidad contribuyó con el 24,4%. El carbón, por su parte, quedó relegado al 1,6%.

En el sector eléctrico, el mix energético español ha evolucionado considerablemente en los últimos años. Según los datos más recientes de Red Eléctrica de España (REE), las energías renovables representaron aproximadamente el 45% de la generación eléctrica en 2023, con la energía eólica y solar fotovoltaica como principales contribuyentes.



2.1 Tendencias

Reducción de emisiones de CO₂

España ha realizado progresos significativos en la reducción de sus emisiones de CO₂. En línea con los objetivos del Acuerdo de París y los objetivos de la Unión Europea para 2030, el país ha reducido sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 27% desde 2005. Este avance ha

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

sido posible gracias al cierre progresivo de plantas de carbón y al incremento en la capacidad instalada de energías renovables.

Inversiones en energías renovables

Las inversiones en energías renovables han aumentado sustancialmente. En 2023, las inversiones en proyectos de energía eólica y solar superaron los 5.000 millones de euros. Las empresas líderes en el sector, como Iberdrola, Endesa y Naturgy, están expandiendo sus carteras de proyectos renovables, tanto a nivel nacional como internacional.

Modernización de la red eléctrica

La modernización de la red eléctrica es una prioridad para garantizar la integración eficiente de las energías renovables. Red Eléctrica de España ha implementado diversas iniciativas para mejorar la capacidad y la flexibilidad de la red, incluyendo la instalación de sistemas de almacenamiento de energía y la implementación de tecnologías de smart grid.

Regulaciones y políticas energéticas

Las políticas energéticas y las regulaciones juegan un papel crucial en la configuración del mercado. En 2020, el gobierno español aprobó el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, que establece objetivos ambiciosos para la reducción de emisiones y el aumento de la capacidad renovable. Entre sus objetivos y previsiones destacan:

- Reducción del 23% en las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030, en comparación con los niveles de 1990.
- Alcanzar una capacidad instalada de energías renovables del 74% para 2030.
- Incrementar la eficiencia energética en un 39,5%.
- 5 millones de vehículos eléctricos en 2030.

El mercado energético en España está en una fase de transición dinámica, con un fuerte enfoque en la sostenibilidad y la innovación tecnológica. Las políticas favorables y las inversiones en energías renovables y modernización de la red están posicionando al país como un líder en la transición energética en Europa.

2.2 Importancia de la digitalización y la analítica avanzada

La digitalización y la analítica avanzada juegan un papel crucial en la transformación del sector energético, permitiendo a las empresas optimizar sus operaciones, mejorar la eficiencia y cumplir con los objetivos de sostenibilidad.

La industria de la energía ha experimentado un avance muy importante con la modernización de los contadores de electricidad, que han reemplazado a los viejos contadores analógicos por contadores digitales (ver 12). En lo que respecta a la digitalización y la analítica avanzada, disponen de varias iniciativas:

- **Optimización de la operación de redes.** La analítica avanzada se emplea para optimizar la operación de las redes eléctricas, mejorando la eficiencia y reduciendo costes. Las empresas emplean algoritmos de inteligencia artificial para predecir la demanda y ajustar la producción en tiempo real. También es común el uso de gemelos digitales para modelar la

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

generación de energía y detectar desviaciones, que pueden tener implicaciones en el mantenimiento del activo o en el acuerdo con el operador.

- **Mantenimiento predictivo:** Es común la implementación de sistemas de mantenimiento predictivo en plantas de generación de energía, utilizando sensores y análisis de datos para anticipar fallos y planificar el mantenimiento. Esto reduce significativamente el tiempo de inactividad y los costes operativos.
- **Gestión de la energía en tiempo real:** Soluciones de gestión de energía en tiempo real que utilizan datos de contadores inteligentes y otras fuentes para optimizar el uso de la energía y mejorar la eficiencia de la red.
- **Despliegue de infraestructura de recarga de vehículos eléctricos:** La mayoría de las empresas del sector energético está invirtiendo en la digitalización de la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos, utilizando tecnologías de monitorización en tiempo real y optimización de la carga para gestionar mejor la demanda y facilitar la integración de los vehículos eléctricos en la red eléctrica.

La analítica avanzada permite el reconocimiento de patrones y tendencias en los datos de consumo, facilitando la toma de decisiones basadas en datos y la planificación estratégica.

3 Retos en la industria energética

La industria energética en España se enfrenta a numerosos desafíos en su transición hacia la sostenibilidad. Estos retos abarcan desde la necesidad de mejorar la eficiencia operativa y reducir costes, hasta la integración de energías renovables y el cumplimiento de estrictas regulaciones ambientales.



3.1 Eficiencia operativa y reducción de costes

La eficiencia operativa y la optimización de costes son aspectos fundamentales para las empresas energéticas en España en un contexto de transición energética y creciente competencia.

Medidas adoptadas por las empresas energéticas

Iberdrola ha implementado diversas estrategias para mejorar su eficiencia operativa y reducir costes. Según su Plan Estratégico 2020-2025, la compañía se ha centrado en la digitalización de sus procesos y la automatización de sus infraestructuras. Una medida concreta es la inversión en tecnologías de smart grids, que permiten una gestión más eficiente de la red eléctrica y la reducción de pérdidas de energía. Iberdrola ha informado que estas iniciativas han permitido una reducción significativa en los costes operativos, aumentando al mismo tiempo la fiabilidad y seguridad del suministro eléctrico.

Endesa también ha adoptado medidas para mejorar su eficiencia operativa. En su Plan de Sostenibilidad 2022-2024, la empresa ha destacado su compromiso con la optimización de procesos a través de la digitalización y la innovación tecnológica. Endesa está invirtiendo en sistemas de mantenimiento predictivo y gestión avanzada de activos, lo que permite anticipar fallos y optimizar las operaciones de mantenimiento. Estas medidas reducen los costes de reparación y tiempo de inactividad, a la vez que mejoran la longevidad de los activos y la eficiencia general de la red.

Naturgy, por su parte, ha centrado sus esfuerzos en la eficiencia energética y la optimización de recursos. En su Estrategia Energética 2021-2025, Naturgy ha implementado un programa de mejora continua que incluye la modernización de sus infraestructuras y la implementación de sistemas de gestión energética. Un ejemplo concreto es la instalación de contadores inteligentes que permiten una medición precisa y en tiempo real del consumo energético, facilitando la gestión eficiente del suministro y la detección temprana de anomalías.

3.2 Integración de energías renovables

La integración de energías renovables en el mix energético es fundamental para cumplir con los objetivos de reducción de emisiones y sostenibilidad. Sin embargo, esta integración no es sencilla debido a la naturaleza intermitente y variable de fuentes como la energía solar y eólica. Garantizar la estabilidad y fiabilidad del suministro eléctrico mientras se aumenta la proporción de renovables requiere de innovaciones tecnológicas y mejoras en la infraestructura de la red eléctrica.

A tal fin, las empresas de energía están adoptando diversas estrategias para integrar eficientemente las energías renovables. Estas estrategias incluyen la modernización de las infraestructuras, el desarrollo de tecnologías de almacenamiento, y la implementación de sistemas de gestión avanzada de la energía. Además, la digitalización y la analítica avanzada juegan un papel crucial en la optimización de las operaciones y en la gestión de la intermitencia de las renovables.

Modernización de la red eléctrica

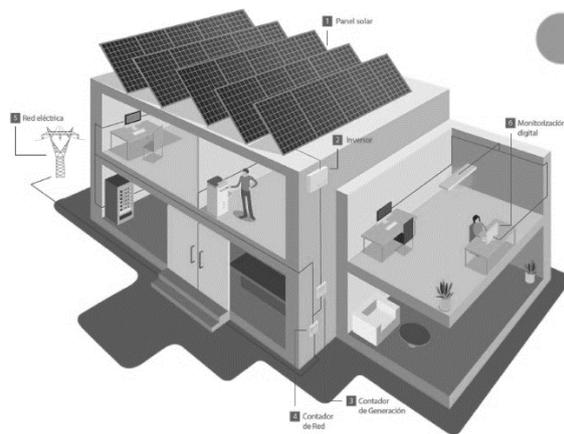
Las empresas están invirtiendo en la modernización de la red eléctrica para mejorar su capacidad y flexibilidad mediante la implementación de tecnologías de smart grid que permiten una mejor gestión y distribución de la energía renovable.

La analítica avanzada y la inteligencia artificial se utilizan para predecir la demanda y ajustar la producción en tiempo real, optimizando el uso de las energías renovables y mejorando la eficiencia de la red.

Desarrollo de tecnologías de almacenamiento

El almacenamiento de energía es esencial para gestionar la intermitencia de las energías renovables. Las empresas están invirtiendo en baterías de gran capacidad y otras soluciones de almacenamiento para garantizar un suministro continuo de electricidad.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.



- 1 Panel solar:**
Formado por células fotovoltaicas que se agrupan en módulos para convertir la luz solar en electricidad.
- 2 Inversor:**
Un dispositivo que transforma la corriente continua generada por el panel en corriente alterna lista para ser utilizada por los equipos de su empresa. Además, unifica las comunicaciones entre los diferentes elementos del sistema.
- 3 Contador de Generación:**
Mide la energía eléctrica producida por la instalación solar.
- 4 Contador de Red:**
Mide la energía que se demanda de la red y está disponible en todos los edificios.
- 5 Red eléctrica:**
Su instalación demandará energía de la red cuando no se genere energía suficiente.
- 6 Inteligente:**
Permite monitorizar la instalación a través de servicios web y la aplicación móvil desde cualquier lugar y en cualquier momento.

QUÉ HAY QUE TENER EN CUENTA:

- Sólo se necesita un tejado **orientado al sur** o un suelo disponible.
- El montaje es **sencillo, sin complicaciones**.
- Antes de tomar la decisión contará con un **estudio personalizado y completo de la solución que mejor se adapta a sus necesidades**.

Ejemplo: Iberdrola está liderando la integración de energías renovables en España mediante la expansión agresiva de su capacidad de generación renovable. La empresa ha invertido en parques eólicos marinos y solares fotovoltaicos, y utiliza analítica avanzada para optimizar la operación de sus redes eléctricas, mejorando la eficiencia y reduciendo costes.

3.3 Mantenimiento predictivo y gestión de activos

El mantenimiento predictivo y la gestión de activos son cruciales en el sector energético debido a la necesidad de garantizar la fiabilidad y eficiencia operativa de las infraestructuras. El envejecimiento de las instalaciones, la presión por reducir costes operativos y la necesidad de minimizar interrupciones en el suministro eléctrico impulsan a las empresas a adoptar enfoques más avanzados y proactivos en el mantenimiento.

Para todo ello, las empresas del sector energético están adoptando diversas estrategias y tecnologías avanzadas:

Implementación de sensores y sistemas de monitorización en tiempo real

La instalación de sensores en equipos críticos permite la recopilación de datos en tiempo real sobre el estado de los activos. Estos datos son analizados continuamente para detectar anomalías y predecir fallos antes de que ocurran, permitiendo un mantenimiento proactivo.

Por ejemplo, sensores de vibración en las palas eólicas, que pueden identificar varios tipos de vibración (3 normalmente, pero hasta 12) antes de un fallo grave. Una pala vale unos 500.000 euros, más el lucro cesante durante la reparación o cambio.

Uso de algoritmos de inteligencia artificial y analítica avanzada

Las empresas están utilizando algoritmos de inteligencia artificial y técnicas de analítica avanzada para identificar patrones y tendencias en los datos de mantenimiento. Esto permite predecir con mayor precisión cuándo es probable que un componente falle y planificar intervenciones antes de que se produzca una avería.

También utilizan analítica avanzada para elaborar planes de mantenimiento que sean matemáticamente óptimos teniendo en cuenta la disponibilidad del personal, su capacitación, herramientas requeridas, componentes, rutas, condiciones climáticas, etc.



Ejemplo: Endesa ha adoptado sistemas de mantenimiento predictivo y gestión avanzada de activos como parte de su Plan de Sostenibilidad 2022-2024. La empresa invierte en tecnologías de monitorización en tiempo real y analítica avanzada para anticipar fallos y optimizar las operaciones de mantenimiento. Estas medidas no solo reducen los costes de reparación y el tiempo de inactividad, sino que también mejoran la longevidad de los activos y la eficiencia general de la red.

3.4 Cumplimiento regulatorio y sostenibilidad

El cumplimiento regulatorio y la sostenibilidad son desafíos críticos en el sector energético debido a la creciente presión para reducir las emisiones de carbono y adoptar prácticas sostenibles. Las empresas energéticas deben navegar por un complejo marco regulatorio que incluye estrictas normativas ambientales y objetivos ambiciosos de descarbonización establecidos tanto a nivel nacional como internacional. Además, la sostenibilidad se ha convertido en un componente esencial para la competitividad y la responsabilidad corporativa, impulsando a las empresas a innovar y adoptar tecnologías limpias.

Estas son las reglamentaciones más relevantes para el sector.

Directiva Europea de Energías Renovables (RED II)

La Directiva (UE) 2018/2001 establece un marco común para la promoción de la energía de fuentes renovables en la UE. Los Estados miembros deben garantizar que al menos el 32% del consumo final de energía provenga de fuentes renovables para 2030, con revisiones y ajustes periódicos para garantizar el cumplimiento.

Ley de Cambio Climático y Transición Energética

Esta ley traspone la directiva europea y tiene como objetivo principal alcanzar la neutralidad climática para 2050 y establece metas intermedias para 2030. Incluye la eliminación gradual del uso de carbón para la generación de electricidad y la promoción de energías renovables, la eficiencia energética y la movilidad sostenible.

Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030

Este plan, aprobado por el gobierno español, establece objetivos ambiciosos para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el aumento de la capacidad renovable, en

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

conformidad con la Ley de Cambio Climático y Transición Energética. Entre sus objetivos destacan:

- Reducción del 23% en las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 en comparación con los niveles de 1990.
- Alcanzar una capacidad instalada de energías renovables del 74% para 2030.
- Incrementar la eficiencia energética en un 39.5%.

3.4.1 Inversiones en redes y su regulación

Una de las regulaciones más significativas en el sector energético español es la limitación de las inversiones en redes de distribución y transporte de electricidad al 0,13% y 0,26% del PIB respectivamente. Esta medida se implementó con el objetivo de controlar los costes y evitar un aumento desmesurado de las tarifas eléctricas para los consumidores (los peajes). Sin embargo, ha generado un conflicto considerable entre las distribuidoras y la administración pública.

Las empresas distribuidoras argumentan que esta limitación impide realizar las inversiones necesarias para modernizar y expandir la infraestructura eléctrica. Señalan que, para cumplir con los objetivos de transición energética, es esencial contar con una red robusta y actualizada que pueda integrar de manera eficiente las energías renovables y gestionar la creciente demanda de electricidad.

Por otro lado, la administración defiende que esta regulación es necesaria para mantener el equilibrio financiero del sector y proteger a los consumidores de posibles incrementos en los costes energéticos.

Conflictos y Consecuencias

El conflicto entre las distribuidoras y la administración ha tenido varias consecuencias notables en el desarrollo de la infraestructura energética en España:

- **Despliegue de centros de datos:** Los centros de datos son clave para la digitalización del tejido empresarial y la adopción de la IA. La limitación en las inversiones ha ralentizado el despliegue de centros de datos, que requieren un suministro eléctrico fiable y robusto. La falta de infraestructura adecuada puede hacer que España pierda competitividad en este sector en auge.
- **Redes de recarga de vehículos eléctricos:** La transición hacia una movilidad sostenible depende en gran medida de la disponibilidad de puntos de recarga para vehículos eléctricos. Las restricciones en las inversiones dificultan la expansión de estas redes, lo que podría ralentizar la adopción de vehículos eléctricos.
- **Nuevas factorías y proyectos industriales:** Las industrias que buscan establecer nuevas factorías o expandir las existentes también se ven afectadas por las limitaciones en la capacidad de la red. Esto puede desalentar la inversión industrial y obstaculizar el crecimiento económico.

3.5 Gestión de datos y seguridad

La gestión de datos y la seguridad son desafíos críticos en el sector energético debido a la creciente digitalización y al aumento del volumen de datos generados por las operaciones. Las empresas energéticas deben manejar grandes cantidades de datos provenientes de sensores, sistemas de monitorización y dispositivos IoT. La seguridad de estos datos es crucial para proteger la infraestructura crítica y asegurar la continuidad del suministro eléctrico. Además, la normativa sobre protección de datos y ciberseguridad impone requisitos estrictos que las empresas deben cumplir.

Los requisitos regulatorios a los que está sujeto el sector incluyen:

Reglamento General de Protección de Datos (GDPR)

Aplicable a todas las empresas que operan en la Unión Europea, incluido el sector energético español, el GDPR establece requisitos rigurosos para la recopilación, almacenamiento y tratamiento de datos personales. Las empresas deben garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos personales y notificar cualquier violación de seguridad en un plazo de 72 horas.

Directiva NIS (Seguridad de Redes y Sistemas de Información)

Esta directiva de la UE establece medidas para lograr un alto nivel común de seguridad de las redes y sistemas de información en la Unión. Las empresas del sector energético, consideradas operadores de servicios esenciales, deben implementar medidas de seguridad adecuadas y notificar incidentes significativos a las autoridades nacionales competentes.

Ley de Protección de Infraestructuras Críticas

En España, esta ley establece medidas para la protección de las infraestructuras críticas, incluyendo las del sector energético. Las empresas deben desarrollar planes de seguridad específicos y colaborar con las autoridades para proteger las infraestructuras contra amenazas y ataques cibernéticos.

El sector está tomando diversas iniciativas para garantizar la seguridad de los datos que gestiona.

Implementación de sistemas avanzados de gestión de datos

Las empresas están invirtiendo en plataformas de gestión de datos robustas que permiten el almacenamiento seguro, el análisis avanzado y la integración de grandes volúmenes de datos. Estas plataformas facilitan la toma de decisiones basadas en datos y la optimización de las operaciones.

Ciberseguridad y protección de infraestructuras

La adopción de tecnologías de ciberseguridad es fundamental. Las empresas energéticas están implementando soluciones como firewalls avanzados, sistemas de detección de intrusiones y protocolos de seguridad para proteger sus redes y sistemas de información.

Cumplimiento normativo y auditorías

Para asegurar el cumplimiento de las normativas, las empresas realizan auditorías regulares y desarrollan políticas y procedimientos de gestión de datos que cumplen con los requisitos legales. También participan en programas de capacitación para sensibilizar a sus empleados sobre la importancia de la seguridad de los datos.

Las empresas energéticas en España adoptan diversas certificaciones ISO para garantizar la seguridad de sus datos y la información.

- La certificación ISO/IEC 27001 es fundamental para estas empresas, ya que establece un sistema de gestión de la seguridad de la información (SGSI) que protege la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos.
- La ISO/IEC 27019 complementa a la ISO/IEC 27001 con directrices específicas para la seguridad de los sistemas de control y automatización en el sector energético, asegurando la protección de infraestructuras críticas.
- La ISO/IEC 27701, por su parte, amplía la ISO/IEC 27001 y 27002 para incluir la gestión de la privacidad de la información personal (PII), ayudando a las empresas a cumplir con regulaciones como el GDPR.
- Además, las certificaciones ISO/IEC 27017 e ISO/IEC 27018 son esenciales para la seguridad en entornos de nube, proporcionando controles adicionales para proteger los datos y la privacidad en servicios de cloud computing.

4 Monitorización en tiempo real

La monitorización en tiempo real de las redes de energía es fundamental para garantizar la calidad, la seguridad y la eficiencia del suministro eléctrico. Un buen sistema de monitorización permite obtener datos precisos y actualizados de todos los puntos de la red, desde la generación hasta la distribución, pasando por la transmisión y el almacenamiento.

Estos datos permiten detectar y resolver anomalías, optimizar el uso de los recursos, predecir la demanda y el comportamiento de los consumidores, y planificar el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos. La monitorización en tiempo real también facilita la integración de fuentes de energía renovables y la gestión de la microgeneración y la autogeneración.

Un buen sistema de monitorización permite implementar el Centro de Control de la red, ayuda a mejorar la resiliencia y la sostenibilidad de las redes de energía, así como a reducir los costes operativos.

4.1 AVEVA PI System

AVEVA PI System es una plataforma de gestión de datos en tiempo real desarrollada por AVEVA, utilizada ampliamente en la industria energética y otros sectores para recopilar, almacenar, analizar y visualizar grandes volúmenes de datos operacionales.

PI System trata los datos como señales, es decir, como series temporales de valores que representan el estado o el rendimiento de un proceso o equipo. Cada señal tiene una etiqueta única que la identifica y le asigna atributos como las unidades, el rango o el tipo de dato.

Estas señales se almacenan en bases de datos especializadas, llamadas PI Data Archive, que permiten un acceso rápido y eficiente a los datos históricos y actuales. El PI Data Archive es capaz de comprimir los datos sin perder información, reduciendo el espacio de almacenamiento y mejorando el rendimiento de las consultas.

Las bases de datos del PI Data Archive son bases de datos no relacionales, que se diferencian de las bases de datos relacionales en que no almacenan los datos en tablas con filas y columnas, sino que utilizan un modelo basado en objetos, donde cada objeto tiene una identidad propia y una colección de atributos. Este modelo permite una mayor flexibilidad y escalabilidad, ya que se pueden agregar o modificar objetos sin tener que alterar la estructura de la base de datos. Además, las bases de datos no relacionales suelen ser más rápidas y eficientes para manejar grandes volúmenes de datos heterogéneos y complejos, como los que se generan en los entornos industriales.

En suma, el uso de señales facilita el análisis y la visualización de los datos, ya que se pueden comparar fácilmente diferentes indicadores y detectar tendencias, anomalías o correlaciones. PI System ofrece herramientas de análisis avanzadas que permiten aplicar algoritmos, funciones o modelos a las señales para obtener información relevante y tomar decisiones basadas en los datos.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.



Ilustración 1 Ejemplo de pantalla de PI System

Integración y conectividad

La plataforma es altamente interoperable y puede integrarse con otros sistemas empresariales y de TI, como ERP, MES (Manufacturing Execution Systems), y sistemas de gestión de mantenimiento. Esto proporciona una visión holística de las operaciones.

Monitorización y alerta en tiempo real

Los usuarios pueden configurar alertas y notificaciones en tiempo real para ser informados de eventos críticos o desviaciones de los parámetros operacionales normales, permitiendo una respuesta rápida y proactiva a posibles problemas.

4.3 Beneficios y aplicaciones en la industria energética

Optimización de la
Eficiencia
Operativa

Mejora del
Mantenimiento
Predictivo

Cumplimiento
Normativo y
Sostenibilidad

Toma de
Decisiones
Basada en Datos

Soporte para la
Transformación
Digital

Optimización de la eficiencia operativa

Al proporcionar una visión completa y en tiempo real de las operaciones, PI System permite a las empresas energéticas optimizar la eficiencia de sus procesos, reducir costos operativos y mejorar la fiabilidad del suministro energético.

Mejora del mantenimiento predictivo

La capacidad de analizar datos históricos y en tiempo real ayuda a predecir fallos en los equipos antes de que ocurran, facilitando el mantenimiento predictivo y reduciendo el tiempo de inactividad no planificado.

Cumplimiento normativo y sostenibilidad

PI System ayuda a las empresas a cumplir con las regulaciones ambientales y de seguridad, proporcionando datos precisos y auditables sobre el rendimiento y las emisiones, en sintonía con las certificaciones ISO mencionadas en 3.5. Esto es crucial para iniciativas de sostenibilidad y descarbonización.

Toma de decisiones basada en datos

Con acceso a datos precisos y en tiempo real, los gestores pueden tomar decisiones informadas que mejoren la productividad, la seguridad y la sostenibilidad de las operaciones.

Soporte para la transformación digital

PI System es una herramienta clave para las iniciativas de transformación digital en la industria energética, permitiendo la implementación de tecnologías avanzadas como inteligencia artificial, machine learning y analítica avanzada.

4.4 Casos de uso y ejemplos prácticos

AVEVA PI System es el standard de facto en monitorización industrial, por lo que existen numerosas referencias de su uso.

Optimización de la gestión de energía en Duke Energy

Duke Energy, una de las mayores compañías eléctricas de EE.UU., ha implementado el sistema AVEVA PI para mejorar la gestión de su red eléctrica.

Con el PI System, Duke Energy monitoriza en tiempo real el rendimiento de sus activos, identifica problemas operativos antes de que se conviertan en fallos y optimiza el mantenimiento predictivo.

Según la empresa, el uso del PI System ha permitido reducir los costes operativos y mejorar la fiabilidad de su suministro eléctrico.

Pertamina: Seguridad energética y mantenimiento predictivo

Pertamina, la empresa estatal de energía de Indonesia, se enfrentaba a pérdidas significativas debido a paradas no planificadas que afectaban su reputación y estabilidad financiera.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

Para solventar este problema, Pertamina implementó el AVEVA PI System junto con analíticas predictivas. Esta solución permitió a la empresa realizar mantenimiento predictivo, mejorando así la fiabilidad de sus operaciones.

Como resultado, Pertamina logró ahorrar casi 2 millones de dólares en el primer año, cifra que aumentó a más de 6 millones de dólares en el tercer año.

Aramco: Gestión de activos y mantenimiento predictivo

Aramco, la gigante petrolera saudí, ha implementado el AVEVA PI System para gestionar de manera eficiente sus activos y realizar mantenimiento predictivo.

Utilizando datos en tiempo real y analíticas avanzadas, Aramco ha mejorado significativamente la eficiencia de sus operaciones y ha reducido el tiempo de inactividad de sus equipos, lo que se traduce en ahorros operativos sustanciales y una mayor productividad.

EDF Renewables: Monitorización y optimización de energía eólica

EDF Renewables utiliza el AVEVA PI System para gestionar su cartera de parques eólicos. La captura y análisis de datos en tiempo real de cada turbina eólica permite a EDF optimizar la producción de energía y reducir los tiempos de inactividad. Esta capacidad de analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real ha permitido a EDF maximizar la eficiencia de sus parques eólicos y mejorar su rentabilidad.

5 Analítica avanzada e Inteligencia Artificial

5.1 Definición y alcance de la analítica avanzada e IA

La analítica avanzada es un conjunto de técnicas y métodos que van más allá del análisis de datos tradicional para descubrir patrones, hacer predicciones y proporcionar insights que pueden informar decisiones estratégicas. Se basa en el uso intensivo de datos, estadísticas avanzadas y algoritmos complejos para analizar grandes volúmenes de información y extraer valor de ellos.

La analítica avanzada e IA se pueden aplicar a diversos dominios y sectores, como la salud, la educación, la seguridad, la energía, el transporte, el comercio, la banca o el marketing. Estas disciplinas permiten aprovechar el potencial de los datos para generar soluciones innovadoras y mejorar la eficiencia y la competitividad. La analítica avanzada e IA abarcan diferentes tipos de análisis que se explicarán a continuación.

5.1.1 Disciplinas de la analítica avanzada

5.1.1.1 *Análisis descriptivo*

El análisis descriptivo se centra en resumir y describir los datos históricos para entender lo que ha sucedido en el pasado. Utiliza estadísticas básicas como promedios, medias y modas para ofrecer una visión clara de los datos. El análisis descriptivo también puede emplear técnicas de visualización como gráficos, tablas y diagramas para representar los datos de forma intuitiva y atractiva. El análisis descriptivo puede responder preguntas como:

- ¿Cuánto ha vendido una empresa en un periodo determinado?
- ¿Qué producto o servicio es el más demandado o rentable?
- ¿Qué características o atributos tienen los clientes más fieles o satisfechos?
- ¿Cómo se distribuyen los datos según variables como género, edad, ubicación o ingreso?

El análisis descriptivo es el primer paso para entender los datos y obtener información valiosa para la toma de decisiones. Sin embargo, el análisis descriptivo tiene sus limitaciones, ya que no puede explicar las causas o los factores que influyen en los resultados, ni predecir lo que sucederá en el futuro. Para ello, se requieren otros tipos de análisis más avanzados, como el análisis predictivo o el análisis prescriptivo.

Ejemplo: en ventas, el análisis descriptivo puede mostrar las tendencias de ventas mensuales y anuales, ayudando a las empresas a identificar patrones estacionales y comportamientos de compra.

5.1.1.2 *Análisis predictivo*

El análisis predictivo utiliza datos históricos y algoritmos estadísticos para predecir futuros eventos. Se basa en técnicas de modelado y aprendizaje automático para hacer predicciones precisas sobre tendencias futuras.

El análisis predictivo se puede dividir en dos subtipos: análisis de regresión y análisis de clasificación.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

- El análisis de regresión busca estimar el valor de una variable numérica (como el precio, la demanda o el beneficio) a partir de otras variables explicativas. Por ejemplo, el análisis de regresión puede usarse para predecir el valor de una vivienda basándose en su ubicación, tamaño y características.
- El análisis de clasificación busca asignar una etiqueta categórica (como sí/no, bueno/malo o tipo de cliente) a un objeto o individuo a partir de otras variables explicativas. Por ejemplo, el análisis de clasificación puede usarse para predecir si un cliente se suscribirá o no a un servicio basándose en sus datos demográficos y preferencias.

Para realizar el análisis predictivo, se requiere un conjunto de datos históricos con las variables de entrada y salida, así como un método de aprendizaje automático que pueda aprender la relación entre ellas. Algunos de los métodos más comunes son la regresión lineal, la regresión logística, los árboles de decisión, las redes neuronales y las máquinas de vectores de soporte. Estos métodos pueden variar en su complejidad, flexibilidad y capacidad de generalización a nuevos datos.

5.1.1.3 *Análisis prescriptivo*

El análisis prescriptivo utiliza técnicas de optimización y simulación para sugerir acciones que pueden tomarse para afectar resultados futuros. Va un paso más allá del análisis predictivo al recomendar decisiones basadas en los datos.

El análisis prescriptivo se basa en la combinación de métodos analíticos y algoritmos de optimización que permiten explorar diferentes escenarios posibles y encontrar la mejor solución. Algunas de las herramientas y técnicas relevantes son:

- La programación lineal, que consiste en maximizar o minimizar una función lineal sujeta a un conjunto de restricciones lineales. Se puede aplicar a problemas como el diseño de redes, la planificación de la producción o el transporte.
- La programación entera, que es un caso especial de la programación lineal donde algunas o todas las variables deben tomar valores enteros. Se puede usar para problemas como la asignación de recursos, la programación de tareas o el empaquetado.
- La programación no lineal, que generaliza la programación lineal cuando la función objetivo o las restricciones son no lineales. Se puede emplear para problemas como el ajuste de curvas, el diseño óptimo o el control óptimo.
- La programación estocástica, que incorpora la incertidumbre en los parámetros del problema de optimización. Se puede utilizar para problemas como la gestión de riesgos, la planificación bajo demanda incierta o la toma de decisiones secuenciales.
- La simulación, que consiste en crear un modelo computacional que reproduzca el comportamiento de un sistema real y generar datos artificiales que permitan evaluar el desempeño de diferentes estrategias. Se puede emplear para problemas como el análisis de colas, el análisis de sensibilidad o el análisis de Monte Carlo.

Estas herramientas y técnicas requieren de una buena comprensión de los datos, los objetivos y las restricciones del problema. Además, se pueden complementar con técnicas de aprendizaje

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

automático para mejorar la precisión de las predicciones, la selección de variables o la adaptación al cambio.

Ejemplo: en la gestión de inventarios, el análisis prescriptivo puede recomendar la cantidad óptima de productos que deben mantenerse en stock para minimizar costos y evitar rupturas de inventario.

5.1.1.4 *Análisis en tiempo real*

El análisis en tiempo real implica la captura y análisis de datos a medida que se generan, proporcionando insights inmediatos que pueden usarse para tomar decisiones rápidas.

Para realizar el análisis en tiempo real, se requieren técnicas y herramientas que permitan procesar grandes volúmenes de datos de forma continua y rápida, generando resultados que puedan ser accedidos y visualizados en tiempo real. Algunas de estas técnicas y herramientas son:

- Procesamiento de eventos complejos (Complex Event Processing, CEP), que consiste en analizar flujos de datos provenientes de múltiples fuentes para detectar patrones, tendencias, anomalías o situaciones de interés en tiempo real.
- Procesamiento de transmisiones de datos (Stream Processing, SP), que implica aplicar operaciones de filtrado, agregación, transformación o enriquecimiento a flujos de datos en movimiento, sin necesidad de almacenarlos previamente en una base de datos.
- Bases de datos en memoria (In-memory Databases, IMD), que almacenan los datos en la memoria RAM del servidor en lugar de en el disco duro, lo que reduce el tiempo de acceso y mejora el rendimiento del análisis.
- Dashboards y cuadros de mando (Dashboard and Scorecard), que son interfaces gráficas que muestran indicadores clave de rendimiento (Key Performance Indicators, KPI) y métricas en tiempo real, facilitando la monitorización y el control de las operaciones.

El análisis en tiempo real tiene una gran aplicación en el ámbito de las operaciones y el mantenimiento, ya que permite optimizar procesos, mejorar la calidad, reducir costes, aumentar la eficiencia, prevenir fallos, anticipar demandas, resolver incidencias y adaptarse a cambios en el entorno. Algunos ejemplos de uso son:

- En la industria manufacturera, el análisis en tiempo real ayuda a supervisar el estado y el funcionamiento de las máquinas, detectar desviaciones o anomalías, predecir el desgaste o la necesidad de mantenimiento, ajustar parámetros de producción, coordinar la cadena de suministro y gestionar el inventario.
- En el sector energético, el análisis en tiempo real contribuye a monitorizar el consumo y la generación de energía, compensar la oferta y la demanda, identificar oportunidades de ahorro o eficiencia, prevenir cortes o averías, integrar fuentes renovables y gestionar la red inteligente.
- En el transporte y la logística, el análisis en tiempo real facilita el seguimiento y la localización de vehículos, mercancías o personas, optimiza rutas y horarios, evita congestiones o accidentes, mejora la seguridad y la satisfacción de los clientes y aprovecha las ventajas de la movilidad inteligente.

5.1.2 Inteligencia Artificial y su ubicación en la analítica avanzada

La inteligencia artificial (IA) es una disciplina amplia dentro de la analítica avanzada que abarca varios métodos y tecnologías diseñados para emular la inteligencia humana. La IA no se limita solo al aprendizaje automático (Machine Learning, ML), aunque este es uno de sus componentes más conocidos.

La historia de la IA se remonta a los años 40, cuando algunos pioneros comenzaron a explorar la posibilidad de crear máquinas inteligentes. Durante la Segunda Guerra Mundial, se usaron algunos rudimentos de la IA para fines militares, como el descifrado de códigos enemigos o el control de armas antiaéreas. Uno de los ejemplos más famosos es la máquina Enigma, que fue utilizada por los aliados para decodificar los mensajes secretos de los alemanes. La máquina Enigma se basaba en un sistema electromecánico de rotores que podía generar varias combinaciones de letras y números.

Después de la guerra, se produjo una gran expansión de la investigación en IA, impulsada por los avances en la lógica, la teoría de la computación y la cibernética. Algunos de los hitos más importantes fueron la creación del primer programa de ajedrez, el desarrollo del lenguaje de programación LISP, la formulación del test de Turing y la fundación de la Asociación Americana para la Inteligencia Artificial.

La IA se puede clasificar en diferentes tipos según el nivel de complejidad, el grado de abstracción o la capacidad de generalización. Algunos de los tipos más comunes son:

Machine Learning (ML): Se centra en el desarrollo de algoritmos que permiten a las máquinas aprender de los datos. Un ejemplo común es el uso de ML en recomendaciones de productos en plataformas de comercio electrónico, donde los algoritmos aprenden de los comportamientos de compra para sugerir productos relevantes.

Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP): Subcampo de la IA que se ocupa de la interacción entre las computadoras y los lenguajes humanos. Un ejemplo es el uso de chatbots en atención al cliente, que pueden comprender y responder a las consultas de los clientes de manera efectiva. Este campo ha experimentado un notable empuje recientemente de la mano de la Inteligencia Artificial Generativa.

Visión por computador: Tecnología que permite a los ordenadores interpretar y procesar imágenes y videos del mundo real. Un ejemplo es el uso de sistemas de reconocimiento facial para seguridad y autenticación.

Sistemas expertos: Software que emula la toma de decisiones de un experto humano. Un ejemplo es el uso de sistemas expertos en diagnóstico médico, donde se analizan los síntomas del paciente para sugerir posibles enfermedades.

Robótica: Implica el diseño y uso de robots para realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana. Un ejemplo es el uso de robots en la fabricación para ensamblar productos con alta precisión y velocidad.

La **Inteligencia Artificial Generativa** (IA generativa) es una rama de la IA que se ocupa de crear contenidos nuevos y originales a partir de datos existentes. Un ejemplo es el uso de modelos de Transformers para generar textos o imágenes coherentes y relevantes a partir de palabras clave, frases, imágenes o videos. La IA generativa tiene aplicaciones en campos como el arte, el diseño,

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

la educación o el entretenimiento, pero también en atención al cliente, marketing o desarrollo de software.

La inteligencia artificial, con todas sus subdisciplinas, se integra en la analítica avanzada para ofrecer soluciones que no solo analizan los datos, sino que también pueden aprender, adaptarse y tomar decisiones de manera autónoma. Esta integración permite a las empresas no solo predecir y describir lo que sucede, sino también actuar de manera proactiva y optimizada en un entorno dinámico y complejo.

Esta visión integral de la analítica avanzada y la IA permite a las organizaciones transformar grandes volúmenes de datos en acciones estratégicas y operativas, mejorando así su eficiencia y competitividad en el mercado.

5.2 Aplicaciones específicas en la industria energética

La eficiencia operativa y la reducción de costes son claves para las empresas energéticas en España, especialmente en el contexto de la transición hacia un modelo energético más verde y competitivo. Las empresas punteras del sector están aplicando diversas estrategias para optimizar sus operaciones y minimizar sus gastos, siguiendo las mejores prácticas y usando tecnologías avanzadas.

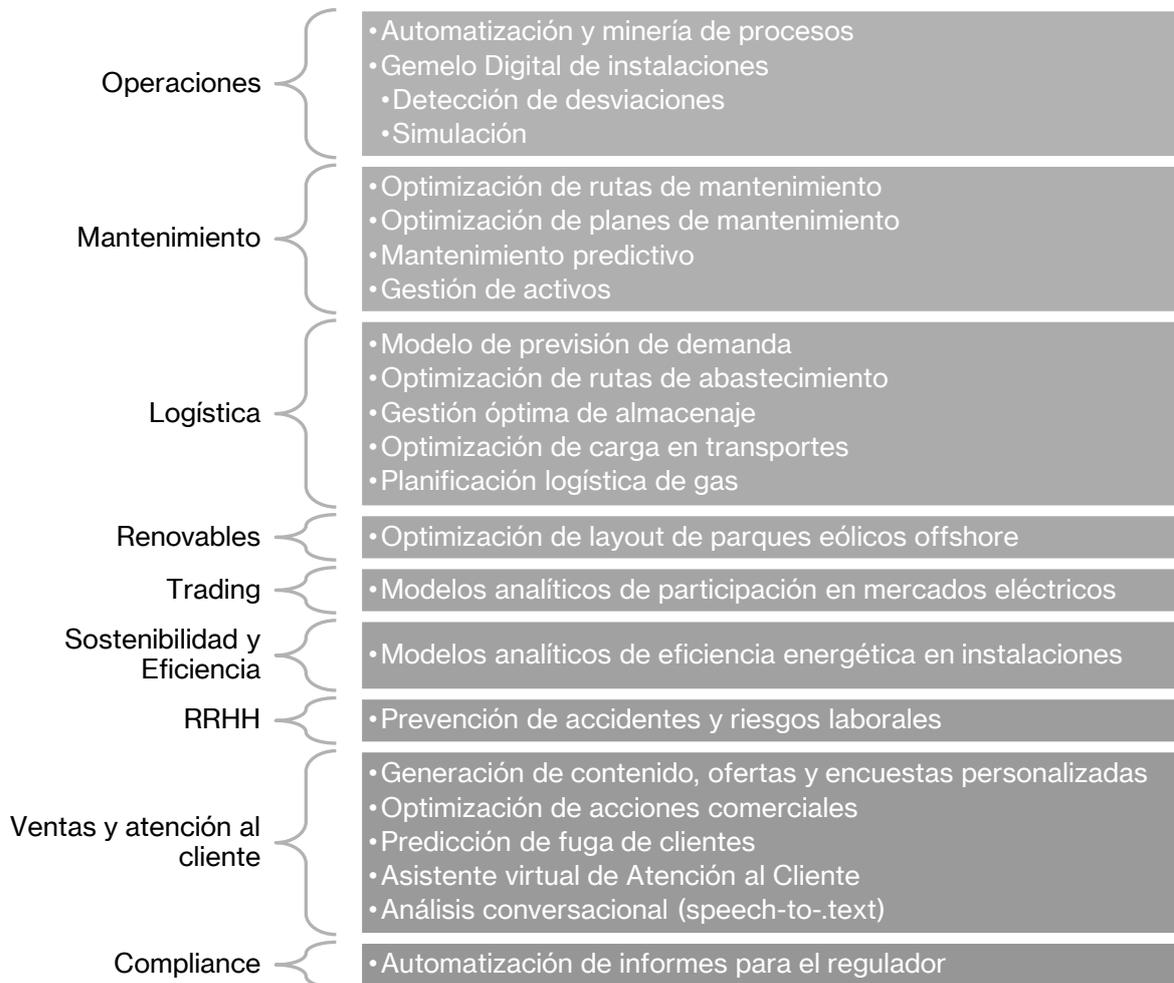
Iberdrola, por ejemplo, ha enfocado sus esfuerzos en la digitalización y la automatización de sus procesos operativos. En su Plan Estratégico 2020-2025, Iberdrola resalta la inversión en tecnologías de redes inteligentes, que permiten una gestión más eficiente y flexible de la red eléctrica. Estas tecnologías no solo aumentan la eficiencia operativa, sino que también disminuyen las pérdidas de energía y los costes de mantenimiento. Según la empresa, la adopción de estas tecnologías ha supuesto una reducción significativa de los costes operativos y una mejora en la fiabilidad del suministro eléctrico.

Endesa también ha tomado medidas para mejorar su eficiencia operativa. Su Plan de Sostenibilidad 2022-2024 enfatiza la importancia de la optimización de procesos a través de la digitalización y la innovación tecnológica. Endesa ha invertido en sistemas de mantenimiento predictivo y en la gestión avanzada de activos, lo que les permite prevenir fallos y planificar el mantenimiento de manera más eficiente. Estas iniciativas disminuyen los costes de reparación y el tiempo de inactividad, y también incrementan la longevidad de los activos y la eficiencia general de la red.

Naturgy, por su parte, ha implementado un programa de mejora continua que incluye la modernización de sus infraestructuras y la implementación de sistemas de gestión energética. Un ejemplo específico es la instalación de contadores inteligentes, que permiten una medición precisa y en tiempo real del consumo energético, facilitando la gestión eficiente del suministro y la detección temprana de anomalías. Esta estrategia optimiza la operación, reduce los costes operativos y mejora la calidad del servicio.

En conclusión, las empresas energéticas en España están adoptando diversas medidas para mejorar su eficiencia operativa y reducir costes, usando tecnologías avanzadas y enfoques innovadores. Estas iniciativas son fundamentales para mantener la competitividad en un mercado en rápida evolución y para alcanzar los objetivos de sostenibilidad a largo plazo.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.



5.2.1 Operaciones

El departamento de operaciones se encarga de garantizar el funcionamiento óptimo de la infraestructura y sistemas energéticos, desde la producción hasta la distribución de la energía. Entre sus funciones se encuentran el diseño, la planificación, la ejecución y el control de las actividades operativas, así como la gestión de los recursos humanos, materiales y financieros necesarios para ello.

5.2.1.1 Automatización y minería de procesos

Inteligencia de procesos y minería de procesos:

- **Propuesta de valor:** Uso de técnicas de minería de procesos para identificar y eliminar ineficiencias en las operaciones de los parques energéticos.
- **Fundamento técnico:** Mediante el uso de algoritmos de minería de procesos, como el algoritmo α y heurísticas de minería de procesos, se pueden identificar cuellos de botella y redundancias en los procesos operativos, optimizando el flujo de trabajo.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

Automatización de decisiones:

- **Propuesta de valor:** Implementación de sistemas automatizados de toma de decisiones para mejorar la eficiencia y la rapidez en la respuesta a condiciones cambiantes del mercado energético.
- **Fundamento técnico:** La implementación de sistemas de reglas basadas en inteligencia artificial (BRMS) permite automatizar decisiones repetitivas y complejas, mejorando la eficiencia operativa y adaptándose rápidamente a los cambios regulatorios y del mercado.

5.2.1.2 Optimización del Unit Commitment:

El Unit Commitment es el problema de decidir qué unidades de generación deben estar en funcionamiento y a qué nivel de capacidad para satisfacer la demanda de energía. Es necesario optimizarlo para reducir los costes de arranque y parada, las emisiones de CO2 y el uso de combustible, así como para maximizar los beneficios económicos y el uso de fuentes renovables.

- **Propuesta de valor:** Mejora la planificación y programación de generación energética en los Energy Parks, asegurando un suministro estable y eficiente.
- **Fundamento técnico:** Utilizando algoritmos de optimización como el método de programación mixta entera, se pueden determinar las mejores combinaciones de unidades de generación, minimizando los costes operativos y garantizando el suministro.

5.2.1.3 Optimización de redes eléctricas:

Las redes eléctricas son sistemas complejos que deben equilibrar de forma continua la oferta y la demanda de energía, evitando situaciones de desabastecimiento o sobrecarga.

La optimización de las redes eléctricas permite mejorar el rendimiento y la fiabilidad de estos sistemas, reduciendo los costes operativos y ambientales, y aumentando la satisfacción de los clientes.

Mediante el uso de soluciones de inteligencia artificial, se pueden aplicar técnicas avanzadas de análisis y predicción de datos, que facilitan la toma de decisiones óptimas en tiempo real, adaptándose a las condiciones cambiantes del mercado y de la red.

- **Propuesta de valor:** Soluciones de IA para optimizar la distribución de energía en tiempo real, ajustando la oferta y la demanda de manera dinámica para minimizar pérdidas y mejorar la eficiencia.
- **Fundamento técnico:** La implementación de redes neuronales y algoritmos de optimización permite ajustar dinámicamente la distribución de energía, basándose en la demanda en tiempo real y la capacidad de la red.

5.2.2 Mantenimiento

El departamento de Mantenimiento tiene como objetivo garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad de las instalaciones del sector de la energía, así como prolongar su vida útil y reducir el impacto ambiental. Para ello, se encarga de realizar las actividades de inspección, reparación

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

y sustitución de los equipos, componentes y sistemas que forman parte de las infraestructuras energéticas.

El departamento de Mantenimiento también aplica soluciones innovadoras basadas en gemelos digitales, que le permiten simular, analizar y optimizar el rendimiento de las instalaciones.

Algunas de las funciones que realiza el departamento de Mantenimiento son:

5.2.2.1 Optimización de rutas de mantenimiento

La optimización de rutas de mantenimiento consiste en utilizar algoritmos de inteligencia artificial para determinar el orden óptimo de las visitas de los técnicos a las instalaciones, minimizando el tiempo y el coste de los desplazamientos. Esta solución tiene varios beneficios, como reducir los tiempos de inactividad, reducir la huella de carbono, mejorar la eficiencia operativa, aumentar la satisfacción de los clientes y evitar retrasos innecesarios.

El fundamento técnico de esta solución se basa en el uso de modelos de aprendizaje automático que pueden procesar grandes cantidades de datos históricos y actuales sobre las condiciones de las instalaciones, las demandas de los clientes, las características del tráfico y las preferencias de los técnicos, la formación necesaria, herramientas requeridas y generar rutas óptimas que se adapten a las necesidades y restricciones de cada situación.

Como alternativa al Machine Learning, se puede aplicar Investigación Operativa a la optimización de rutas y planes. A diferencia del machine learning, que requiere de datos históricos para entrenar modelos predictivos, la investigación operativa puede resolver este problema mediante algoritmos matemáticos que buscan la solución óptima o aproximada, basándose en criterios como la distancia, el tiempo, el coste o la demanda.

La investigación operativa ofrece una alternativa al machine learning cuando no se dispone de suficientes datos o cuando se quiere garantizar la calidad de la solución.

5.2.2.2 Mantenimiento predictivo

Mantenimiento predictivo con IA:

- **Propuesta de valor:** Soluciones basadas en IA para predecir fallos en equipos e infraestructuras antes de que ocurran, permitiendo planificar el mantenimiento de manera más eficiente y reducir tiempos de inactividad.
- **Fundamento técnico:** Mediante el uso de modelos de machine learning como redes neuronales y SVMs, se pueden analizar patrones de datos históricos para predecir fallos futuros y programar mantenimientos preventivos.

5.2.2.3 Gestión de activos

Gestión de activos:

- **Propuesta de valor:** Utilizando algoritmos de machine learning, optimizar la gestión de sus activos, priorizando reparaciones y reemplazos basados en análisis de datos en tiempo real.
- **Fundamento técnico:** La aplicación de técnicas de análisis de datos en tiempo real, como el *clustering* y la detección de anomalías, permite identificar los activos que requieren atención inmediata, mejorando la eficiencia operativa y prolongando la vida útil de los equipos.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

5.2.2.4 *Gemelo digital de instalaciones*

Un gemelo digital es una representación virtual de una instalación física, que permite monitorizar, analizar y simular su comportamiento y rendimiento.

Existen diferentes tipos de gemelos digitales, según el nivel de detalle y complejidad que ofrecen.

- Los más básicos son los **gemelos físicos o visuales**, que recrean la apariencia y la ubicación de las instalaciones, y permiten visualizar datos e indicadores en tiempo real. Estos se emplean para representar y monitorizar plantas de energía renovable, como parques eólicos o solares, y evaluar su rendimiento y disponibilidad y por ejemplo lanzar acciones cuando el rendimiento real y el teórico no coinciden.
- Los **gemelos funcionales** añaden la capacidad de modelar el funcionamiento interno de las instalaciones, y simular escenarios hipotéticos para predecir el impacto de posibles cambios o eventos. En el sector de la energía se usan para simular el flujo de energía en las redes eléctricas, y analizar el impacto de la integración de fuentes renovables o la demanda de los usuarios
- Los **gemelos analíticos** van más allá, e incorporan técnicas de inteligencia artificial para detectar desviaciones, anomalías y patrones en el comportamiento de las instalaciones, y generar recomendaciones para optimizar su eficiencia y mantenimiento. Se emplean para optimizar la gestión de los activos energéticos, anticipando posibles fallos, reduciendo costes operativos y mejorando la eficiencia energética.

5.2.3 Logística

La logística es un aspecto clave en el sector de la energía, ya que implica la planificación y gestión eficiente del transporte y almacenamiento de los recursos energéticos, desde su origen hasta su consumo final. La logística puede afectar a la seguridad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la cadena de valor energética.

Algunas de estas soluciones son:

5.2.3.1 *Modelo de previsión de demanda*

Los modelos de previsión de demanda son herramientas que permiten estimar la cantidad y el momento en que los clientes requerirán los productos o servicios energéticos. Estos modelos se basan en el análisis de datos históricos, variables exógenas, tendencias y estacionalidades.

Los modelos que predicen la demanda mejoran la logística, porque permiten planificar mejor el transporte y el almacenamiento, bajan los costes y los riesgos, y mejoran la satisfacción del cliente.

Algunos de los fundamentos técnicos que se utilizan para construir estos modelos son: métodos estadísticos, redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos, lógica difusa y aprendizaje automático.

Los modelos de previsión de demanda a gran escala presentan varios retos que hay que solventar, tales como:

- La poca disponibilidad o calidad de los datos históricos, que pueden estar incompletos, dispersos o contener errores.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

- La gran variedad y complejidad de las variables exógenas que influyen en la demanda, como el clima, el precio, la competencia, la regulación, los eventos especiales, etc.
- La heterogeneidad de las instalaciones que se quieren predecir, que pueden tener características, comportamientos y niveles de demanda muy diferentes según su ubicación, tamaño, tipo de cliente, etc.
- La adaptabilidad de los modelos a los cambios dinámicos del mercado, las preferencias de los clientes y las condiciones ambientales, que requieren una actualización constante y una validación rigurosa.
- La escalabilidad de los modelos para poder predecir la demanda de múltiples instalaciones simultáneamente, sin comprometer la precisión ni el rendimiento computacional.

5.2.3.2 Optimización de rutas de abastecimiento

Propuesta de valor: Decisiones óptimas de transporte y distribución de productos refinados, desde las instalaciones de producción hasta los puntos de consumo, mediante el uso de modelos matemáticos y algoritmos de optimización.

La optimización de rutas de abastecimiento se apoya en la previsión de demanda de los diferentes clientes y mercados, que puede variar según factores estacionales, climáticos, económicos o geopolíticos, y aplica técnicas de optimización que considera todos los objetivos y restricciones relevantes. Al contar con una solución analítica, se pueden obtener beneficios como:

- Ahorro de costes operativos, al reducir la distancia recorrida, el número de vehículos utilizados y el consumo de combustible.
- Mejora de la eficiencia, al minimizar el tiempo de entrega, el inventario y los riesgos de escasez o exceso de oferta.
- Mayor satisfacción de los clientes, al cumplir con sus necesidades y expectativas de calidad y servicio.
- Menor impacto ambiental, al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y la huella de carbono.

Los retos que estas soluciones deben resolver son:

- La complejidad de los problemas de optimización, que pueden involucrar múltiples variables, restricciones, objetivos y escenarios.
- La incertidumbre de los datos de entrada, que pueden contener errores, faltantes o cambios imprevistos.
- La integración de los modelos con los sistemas de información y gestión existentes, para facilitar la implementación y el seguimiento de las soluciones.
- La adaptabilidad de los modelos a los cambios dinámicos del mercado, las preferencias de los clientes y las condiciones ambientales, que requieren una actualización constante y una validación rigurosa.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

5.2.3.3 *Gestión óptima de almacenaje*

Optimización para el almacenamiento de productos refinados:

- **Propuesta de valor:** Decisiones óptimas de almacenamiento y logística dentro de los parques energéticos, mediante el uso de modelos matemáticos y algoritmos de optimización.
- **Fundamento técnico:** Mediante el uso de técnicas de investigación operativa y algoritmos de optimización, se pueden minimizar los costes de almacenamiento y maximizar la eficiencia logística, ajustando continuamente las decisiones basadas en la demanda y capacidad disponible.

Optimización del almacenamiento de energía:

- **Propuesta de valor:** Implementar modelos de optimización para el almacenamiento de energía puede maximizar el uso de fuentes renovables y minimizar el desperdicio energético.
- **Fundamento técnico:** Utilizando modelos de programación lineal y no lineal, se puede gestionar de manera eficiente la carga y descarga de sistemas de almacenamiento de energía, adaptando las operaciones a las variaciones en la producción y demanda de energía.

5.2.3.4 *Optimización de carga en transportes*

La carga en transportes es un problema complejo que implica asignar y distribuir los recursos disponibles a las demandas de los clientes, teniendo en cuenta las restricciones de tiempo, espacio, coste y calidad. Una mala gestión de la carga puede resultar en pérdidas económicas, retrasos, desperdicio de combustible y emisiones innecesarias. Por lo tanto, se necesita optimizar la carga en transportes para mejorar la eficiencia, la rentabilidad y la sostenibilidad del sector.

- **Propuesta de valor:** Ofrecer una solución basada en algoritmos genéticos y heurísticos para optimizar la carga en transportes, considerando múltiples criterios y escenarios. Esta solución puede reducir los costes operativos, aumentar la satisfacción de los clientes, disminuir el impacto ambiental y adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado.
- **Fundamento técnico:** Los algoritmos genéticos y heurísticos son técnicas de optimización que imitan los procesos naturales de selección y búsqueda, respectivamente. Estos algoritmos pueden encontrar soluciones aproximadas a problemas de alta complejidad y dimensionalidad, que son difíciles de resolver con métodos exactos. Además, estos algoritmos permiten incorporar múltiples objetivos y restricciones, así como generar varias soluciones alternativas, lo que facilita la toma de decisiones bajo incertidumbre.

5.2.3.5 *Planificación logística de gas*

La planificación logística del gas consiste en determinar las rutas, medios y frecuencias óptimas para el transporte y la distribución de gas natural, licuado o comprimido, desde los puntos de producción hasta los puntos de consumo. Esta planificación es necesaria para garantizar la seguridad, la calidad y la eficiencia del suministro de gas, así como para minimizar los costes y

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

las emisiones asociados al transporte. La planificación logística del gas se enfrenta a diversos retos, como la variabilidad de la demanda, las restricciones de capacidad e infraestructura, los riesgos operativos y ambientales, y la competencia de otros agentes del mercado.

- **Propuesta de valor:** Ofrecer una solución basada en algoritmos evolutivos y metaheurísticos para optimizar la planificación logística del gas, considerando múltiples escenarios y criterios, como el coste, el tiempo, la fiabilidad, la sostenibilidad y la satisfacción del cliente. Esta solución mejora el rendimiento y la competitividad de las empresas de gas, reduce el consumo de recursos y la huella de carbono, aumenta la flexibilidad y la robustez ante cambios e imprevistos, y facilita la integración de fuentes de energía renovable en el sistema.
- **Fundamento técnico:** Los algoritmos evolutivos y metaheurísticos son técnicas de optimización que se inspiran en los principios de la evolución biológica y la inteligencia colectiva, respectivamente. Estos algoritmos pueden resolver problemas complejos y combinatorios, que son difíciles de abordar con métodos analíticos o numéricos. Además, estos algoritmos permiten incorporar múltiples objetivos y restricciones, así como generar un conjunto de soluciones Pareto-óptimas, que representan diferentes compromisos entre los criterios. Algunos ejemplos de estos algoritmos son el algoritmo genético, la búsqueda tabú, la optimización por colonia de hormigas, la optimización por enjambre de partículas y el recocido simulado.

5.2.4 Renovables

5.2.4.1 Optimización de layout de parques eólicos offshore

El layout de un parque eólico offshore se refiere a la disposición y ubicación de los aerogeneradores dentro del parque. Esta disposición es crucial ya que afecta directamente la eficiencia de generación de energía, la estabilidad estructural y el coste operativo del parque.

Optimizar el layout implica determinar la mejor configuración posible que maximice la producción de energía y minimice el CAPEX y OPEX asociados, considerando factores como el régimen de vientos, la topografía marina, la distancia a la costa, y las condiciones de conexión a la red eléctrica.

- **Propuesta de valor.** Implantar un modelo de optimización que consigue encontrar la manera óptima de conectar los aerogeneradores, seleccionar los mejores tipos y posiciones de los cables entre matrices, e identificar el conjunto idóneo de subestaciones marinas a utilizar. Minimizando siempre los costes CAPEX y OPEX, y teniendo en cuenta todas las variables y restricciones existentes, y ofreciendo la posibilidad de gestionar diferentes escenarios a través de simulación y análisis “what-if”.

5.2.4.2 Optimización de energías renovables:

Como se menciona en el apartado 3.2, la integración de energías renovables presenta retos significativos debido a la naturaleza intermitente y variable de fuentes como la energía solar y eólica.

La analítica avanzada ayuda con la optimización de energías renovables de varias formas, tales como:

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

- En la etapa de diseño, mejorar el diseño y la planificación de los proyectos de energía renovable, considerando las condiciones del terreno, la demanda eléctrica, los recursos disponibles y las restricciones técnicas y económicas.
- Una vez en operación, aumentar la eficiencia operativa y el rendimiento de los sistemas de energía renovable, mediante la monitorización en tiempo real, el diagnóstico de fallos, el mantenimiento predictivo y la gestión de activos.
- Reducir los costes y los riesgos asociados a la integración de energías renovables en la red eléctrica, mediante la gestión de la demanda, el balanceo de cargas, el almacenamiento de energía y la participación en los mercados de energía.

5.2.5 Trading

El trading es el proceso de comprar y vender energía en los mercados eléctricos, donde el precio varía según la oferta y la demanda. Las empresas de energía participan en el trading para optimizar sus ingresos, reducir sus costes, gestionar sus riesgos y cumplir con sus obligaciones regulatorias. El trading implica tanto operaciones a corto plazo como a largo plazo, y puede realizarse en mercados spot o en mercados de futuros y derivados.

Las decisiones de trading dependen de varios factores, como las previsiones de producción, consumo, precios y condiciones meteorológicas, así como de las estrategias comerciales, los objetivos financieros y los perfiles de riesgo de cada empresa. Estas decisiones requieren un análisis complejo y una rápida adaptación a las condiciones cambiantes del mercado. Por ello, es importante contar con herramientas y modelos que ayuden a las empresas de energía a tomar las mejores decisiones posibles y a maximizar su rentabilidad. Algunas de estas herramientas y modelos son:

- **Modelos de optimización de la cartera de generación:** Estos modelos permiten determinar la cantidad óptima de energía a producir o comprar en cada momento, teniendo en cuenta los costes de operación, los límites técnicos, las restricciones contractuales y las oportunidades de mercado.
- **Modelos de gestión de riesgos:** Estos modelos permiten evaluar y cuantificar los riesgos asociados al trading, como el riesgo de mercado, el riesgo de crédito, el riesgo operacional o el riesgo regulatorio, y definir medidas de mitigación, como coberturas, seguros o diversificación.
- **Modelos de previsión de precios de venta en los mercados:** Estos modelos permiten estimar la evolución futura de los precios de la energía en los distintos mercados, utilizando métodos estadísticos, econométricos o de inteligencia artificial, y basándose en datos históricos, actuales y previstos. Estos modelos son clave para anticipar las tendencias del mercado y ajustar las estrategias comerciales en consecuencia.

5.2.5.1 Modelos analíticos de participación en mercados eléctricos

Modelo de previsión de precio de venta en los mercados:

- **Propuesta de valor:** Utilización de modelos predictivos para anticipar cambios en los precios del mercado energético y ajustar las estrategias comerciales en consecuencia.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

- **Fundamento técnico:** Mediante el uso de series temporales y modelos ARIMA (*AutoRegressive Integrated Moving Average*), es posible predecir los precios futuros del mercado energético basándose en datos históricos y patrones de comportamiento.

Modelos predictivos para mercados eléctricos:

- **Propuesta de valor:** Utilizar algoritmos predictivos para optimizar la compraventa de energía en los mercados eléctricos, mejorando la eficiencia y rentabilidad de las operaciones de trading de energía.
- **Fundamento técnico:** La aplicación de técnicas de aprendizaje automático supervisado, como regresión y árboles de decisión, permite predecir tendencias en los mercados eléctricos y ajustar las estrategias de trading para maximizar los beneficios.

5.2.6 Sostenibilidad y eficiencia

5.2.6.1 Modelos analíticos de eficiencia energética en instalaciones

Un aspecto clave para mejorar la competitividad y reducir el impacto ambiental de las instalaciones industriales y comerciales es optimizar su consumo energético. Para ello, se requiere de herramientas que permitan analizar el comportamiento energético de las instalaciones, identificar los factores que influyen en el mismo, y proponer medidas de mejora basadas en la evidencia. Los modelos analíticos de eficiencia energética son un tipo de herramienta que utiliza técnicas de aprendizaje automático, estadística y simulación para estimar el consumo energético de una instalación a partir de datos históricos y variables externas, como la temperatura, la humedad, la ocupación o el precio de la energía. Estos modelos permiten:

- Detectar anomalías, desviaciones y oportunidades de ahorro en el consumo energético.
- Evaluar el impacto potencial de acciones de mejora, como cambios en los horarios de operación, sustitución de equipos, instalación de sistemas de control o generación renovable.
- Comparar el rendimiento energético de diferentes instalaciones, zonas o equipos, y establecer objetivos y planes de acción.
- Cuantificar la huella de carbono asociada al consumo energético y el grado de cumplimiento de normativas y certificaciones ambientales.

Como se menciona en 3.4, una de las normas internacionales que regula la eficiencia energética es la ISO 50001, que establece los requisitos para implementar un sistema de gestión de la energía (SGE) basado en el ciclo de mejora continua PDCA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). Esta norma ayuda a las organizaciones a identificar sus usos y consumos de energía, definir indicadores de rendimiento energético, establecer objetivos y metas de mejora, evaluar el cumplimiento legal y verificar la efectividad de las acciones implementadas.

La ISO 50001 es aplicable a cualquier tipo de instalación, sector o actividad, y ofrece beneficios como el ahorro de energía, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la mejora de la imagen corporativa y la competitividad, y el fomento de una cultura de eficiencia energética entre los trabajadores y los grupos de interés.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

La adopción de la norma ISO 50001 por parte de los clientes de las empresas energéticas ha abierto nuevas oportunidades de negocio como la consultoría y asesoría de eficiencia energética, o el desarrollo de soluciones energéticas integradas. Iberdrola y Endesa han comenzado a ofrecer servicios específicos para ayudar a sus clientes a cumplir con la ISO 50001. Estos servicios incluyen la implementación de sistemas de gestión energética, la provisión de tecnología avanzada para la monitorización del consumo energético y la oferta de soluciones de optimización energética personalizadas. Estas iniciativas ayudan a sus clientes a ser más eficientes energéticamente, al tiempo que crean nuevas oportunidades de negocio y fortalecen la relación con los clientes.

Los modelos analíticos de eficiencia energética se complementan con la digitalización de las instalaciones, que permite recoger y procesar gran cantidad de datos sobre el funcionamiento de los sistemas y equipos, y con la implantación de sistemas de gestión y monitorización energética, como los BMS (Building Management System), que permiten controlar y optimizar el uso de la energía en tiempo real. De esta forma, se logra una gestión inteligente y sostenible de la energía, que reduce los costes operativos y mejora la competitividad de las instalaciones.

5.2.7 RRHH

5.2.7.1 *Prevención de accidentes y riesgos laborales*

En el sector energético, la seguridad laboral es de suma importancia debido a la naturaleza peligrosa de muchas de las actividades realizadas, desde la generación y distribución de electricidad hasta la operación de refinerías y plantas industriales. La implementación de sistemas de monitorización y analítica avanzada puede jugar un papel crucial en la mejora de la seguridad y la reducción de riesgos laborales.

La monitorización en tiempo real permite la captura continua de datos operativos y ambientales a través de sensores distribuidos en instalaciones críticas. Esta tecnología proporciona una visibilidad instantánea de las condiciones de trabajo, lo que permite la identificación temprana de situaciones peligrosas y la implementación inmediata de medidas correctivas.

La **analítica predictiva** utiliza algoritmos de machine learning para analizar datos históricos y actuales, identificando patrones y tendencias que pueden predecir fallos en equipos o condiciones de trabajo peligrosas. Esto permite a las empresas energéticas tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento preventivo y la gestión de la seguridad.

- **Ejemplo: mantenimiento predictivo:** Al analizar los datos de funcionamiento de equipos críticos, como turbinas eólicas o generadores eléctricos, se pueden predecir fallos antes de que ocurran. Esto permite programar el mantenimiento necesario, evitando paradas no planificadas y minimizando el riesgo de accidentes laborales asociados con fallos inesperados.

Un **gemelo digital** es una réplica virtual de una instalación física que se actualiza continuamente con datos en tiempo real. Esta tecnología permite simular diferentes escenarios operativos y su impacto en la seguridad laboral, ayudando a identificar y mitigar riesgos potenciales.

- **Ejemplo: simulación de escenarios de riesgo:** En un parque eólico offshore, un gemelo digital puede simular condiciones meteorológicas adversas y su impacto en la estabilidad de las turbinas. Esto permite planificar y ejecutar medidas preventivas, como

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

ajustar los planes de trabajo o reforzar las estructuras, para garantizar la seguridad de los trabajadores.

La **visión artificial** y el análisis de imágenes permiten la detección automática de eventos de riesgos mediante la monitorización visual continua de las instalaciones. Esta tecnología puede identificar comportamientos inseguros, detectar la presencia de personas en áreas restringidas y verificar el uso adecuado de equipos de protección personal (EPP).

- **Ejemplo: inspección automatizada:** Utilizando drones equipados con cámaras de alta resolución, las empresas pueden realizar inspecciones automatizadas de líneas eléctricas y oleoductos. Estas inspecciones pueden detectar daños o anomalías que podrían representar riesgos para los trabajadores, permitiendo una intervención rápida y segura.

La **formación de los trabajadores y los supervisores** es clave para garantizar la seguridad laboral. Las tecnologías digitales pueden facilitar el acceso a contenidos formativos adaptados a las necesidades y características de cada puesto de trabajo. Además, pueden ofrecer experiencias de aprendizaje inmersivas y realistas, que permiten simular situaciones de riesgo y entrenar habilidades y competencias específicas.

- **Ejemplo: realidad virtual y aumentada:** Estas tecnologías permiten crear entornos virtuales que replican las condiciones y desafíos de los escenarios reales de trabajo. Los trabajadores pueden interactuar con estos entornos y practicar sus tareas, recibiendo retroalimentación y orientación personalizada. Esto mejora su preparación y confianza, reduciendo el riesgo de errores o accidentes.

Los asistentes virtuales son sistemas inteligentes que pueden interactuar con los trabajadores mediante voz o texto, proporcionando información, asesoramiento y soporte en tiempo real. Estos sistemas pueden mejorar la seguridad laboral al facilitar el acceso a datos relevantes, resolver dudas, alertar de posibles riesgos y ofrecer instrucciones detalladas para realizar las tareas de forma segura y eficiente.

- **Ejemplo: chatbots y asistentes de voz:** Estos sistemas pueden comunicarse con los trabajadores mediante interfaces conversacionales, utilizando procesamiento del lenguaje natural y aprendizaje automático. Los chatbots y asistentes de voz pueden responder preguntas, proporcionar datos actualizados, dar recomendaciones y avisar de emergencias. Esto reduce la carga cognitiva y aumenta la productividad de los trabajadores.

La integración de datos de monitorización en tiempo real y analítica avanzada en plataformas de toma de decisiones proporciona a los gerentes y operadores una visión integral de las operaciones. Esto facilita la identificación de riesgos, la planificación de intervenciones y la implementación de estrategias de mitigación de riesgos de manera más efectiva.

- **Ejemplo: plataformas de gestión de seguridad:** Las plataformas que integran datos de sensores, análisis predictivo y gemelos digitales pueden proporcionar alertas tempranas y recomendaciones de acción para prevenir accidentes laborales. Esto asegura que las decisiones se basen en datos precisos y actualizados, mejorando la seguridad general en el lugar de trabajo.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

La combinación de monitorización en tiempo real y analítica avanzada ofrece un enfoque poderoso para reducir los riesgos laborales en el sector de la energía. Estas tecnologías permiten la detección temprana de peligros, la predicción de fallos y la optimización de las condiciones de trabajo, contribuyendo a un entorno laboral más seguro y eficiente. Las empresas energéticas que adopten estas herramientas estarán mejor preparadas para proteger a sus empleados y mejorar la resiliencia operativa.

5.2.8 Ventas y atención al cliente

Las empresas están invirtiendo significativamente en áreas de ventas y atención al cliente para mejorar la experiencia del cliente y aumentar la eficiencia operativa. El uso de CRMs para almacenar todas las interacciones de cada cliente, junto con la analítica avanzada para anticipar necesidades y comportamientos, optimizando así las estrategias de ventas y atención al cliente es ya muy popular

Hay otras tendencias en este campo:

- **Chatbots y asistentes virtuales:** Más del 70% de las empresas han incorporado chatbots y asistentes virtuales para manejar interacciones con clientes, lo que ha mejorado la eficiencia y reducido costes.
- **Personalización y autoayuda:** Las empresas están invirtiendo en tecnologías de personalización y herramientas de autoayuda para mejorar la satisfacción del cliente. Un 81% de los consumidores están dispuestos a pagar más por un producto o servicio si se les garantiza una atención de clase mundial.
- **Capacitación del personal:** La capacitación de asesores para manejar consultas específicas y resolver problemas complejos ha sido un área clave de inversión, mejorando la calidad del servicio al cliente.

Estas inversiones mejoran la experiencia del cliente y optimizan los procesos internos, lo que se traduce en una mayor eficiencia y rentabilidad para las empresas.

5.2.8.1 Predicción y optimización

En el área de conocimiento de la analítica predictiva y prescriptiva existen casos de uso maduros ya adoptados por la mayoría temprana del mercado que aún cuentan con recorrido.

5.2.8.1.1 Optimización de acciones comerciales

La optimización de acciones comerciales implica el uso de datos y analítica avanzada para mejorar la eficiencia y efectividad de las actividades de ventas y marketing. Este proceso incluye la identificación de oportunidades de venta, la personalización de ofertas y la asignación de recursos de manera estratégica para maximizar el retorno de la inversión (ROI).

Fundamento Técnico:

- **Modelos de analítica predictiva:** Utilizan datos históricos y actuales para predecir el comportamiento de compra de los clientes. Esto permite a las empresas focalizar sus esfuerzos de marketing en segmentos específicos que tienen una mayor probabilidad de conversión.
- **Optimización de campañas:** Mediante algoritmos de optimización, las empresas pueden ajustar en tiempo real las campañas de marketing y ventas para mejorar la

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

efectividad y reducir los costes. Herramientas de gestión de campañas y CRM integran estos algoritmos para proporcionar recomendaciones sobre el momento ideal y el canal más adecuado para contactar a cada cliente.

Ejemplo:

- **Segmentación de clientes:** Una empresa puede utilizar la segmentación basada en datos para personalizar las ofertas comerciales. Por ejemplo, una compañía de telecomunicaciones puede segmentar a sus clientes según su uso de datos y ofrecer planes personalizados que se ajusten a sus necesidades específicas.

5.2.8.1.2 Predicción de fuga de clientes

La predicción de fuga de clientes se refiere a la identificación anticipada de clientes que están en riesgo de abandonar un servicio o cambiar de proveedor. Esta práctica permite a las empresas implementar estrategias de retención personalizadas para reducir la tasa de abandono y mantener la base de clientes.

Fundamento Técnico:

- **Modelos de Machine Learning:** Estos modelos analizan patrones en el comportamiento del cliente, como la frecuencia de uso del servicio, la interacción con el soporte al cliente y las quejas registradas, para identificar señales de posible abandono.
- **Análisis de sentimiento:** Utiliza el procesamiento del lenguaje natural (NLP) para analizar las interacciones de los clientes, como correos electrónicos y comentarios en redes sociales, para detectar sentimientos negativos que puedan indicar insatisfacción.

Ejemplo:

- **Intervenciones proactivas:** Una empresa de energía puede identificar a los clientes con alto riesgo de fuga mediante el análisis de sus facturas y su interacción con el servicio de atención al cliente. Una vez identificados, la empresa puede ofrecer incentivos personalizados, como descuentos o mejoras en el servicio, para retener a estos clientes.

5.2.8.2 Casos de uso de IA Generativa

La extraordinaria capacidad de los Grandes Modelos de Lenguaje (LLM) y la IA Generativa para entender y manipular lenguaje hablado y escrito, es de gran utilidad para tratar grandes cantidades de interacciones con clientes e interactuar con ellos de una manera casi indistinguible de la de una persona. Ahora es posible:

- Resumir las notas de los técnicos para ofrecer información sobre el estado de una incidencia en el servicio.
- Comparar de manera automática diferentes ofertas aplicables al cliente, aunque figuren en lenguaje natural o no estructurado.
- Explicar las condiciones contractuales en el idioma, lenguaje y tono preferidos del cliente.
- Recoger de manera natural la opinión del cliente sobre su satisfacción con un servicio reciente.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

- Actuar como capa intermedia entre el interfaz del agente y los diferentes sistemas empleados en atención al cliente.

Esto habilita nuevos casos de uso que provean al cliente final de información adaptada a su situación, con agilidad, de forma automatizada, en el idioma que prefiera, suprimiendo el cuello de botella del agente humano, incluso en un modo conversacional natural. Por ejemplo:

- Generación de contenido, ofertas y encuestas personalizadas
- Asistentes virtuales de Atención al Cliente sensiblemente mejorados (chatbots o callbots)
- Análisis conversacional avanzado (speech-to-text)

5.2.9 Compliance

5.2.9.1 Automatización de informes para el regulador

Muchas de estas empresas son críticas o retribuidas y deben proporcionar informes periódicos de sus actividades, operaciones, mantenimientos y finanzas al regulador. Aunque la estructura es estática, el contenido varía en función de la actividad, por lo que hasta el momento no ha sido plenamente automatizado.

La IA Generativa puede acelerar la redacción de estos informes, reduciendo los errores humanos y el tiempo dedicado a esta tarea. La IA Generativa puede analizar los datos disponibles de cada empresa, extraer la información relevante para el regulador y generar un texto coherente y preciso que cumpla con los requisitos formales y legales. Además, la IA Generativa puede adaptar el estilo y el tono del texto al tipo de informe y al destinatario, así como traducirlo a otros idiomas si es necesario. Estos informes pueden incluir aspectos como las tarifas reguladas, los planes de inversión, los indicadores de calidad o las incidencias detectadas.

5.3 Cómo complementar monitorización en tiempo real con analítica avanzada

La monitorización en tiempo real de los procesos industriales permite recoger una gran cantidad de datos sobre el rendimiento, el estado y la eficiencia de los equipos y las operaciones. Sin embargo, estos datos por sí solos no son suficientes para extraer los conocimientos que pueden ayudar a mejorar la toma de decisiones y optimizar los resultados. Es necesario aplicar técnicas de analítica avanzada que permitan transformar los datos en información útil y accionable.

Las técnicas de analítica avanzada presentadas en las secciones anteriores pueden ayudar a identificar patrones, tendencias, anomalías, correlaciones y causas de los fenómenos observados, así como a estimar el impacto de posibles cambios o intervenciones.

La combinación de monitorización en tiempo real y analítica avanzada ofrece ventajas competitivas para las empresas del sector energético, tales como:

- Mejorar la seguridad y la fiabilidad de los activos, al detectar y prevenir fallos, averías y riesgos potenciales.
- Aumentar la eficiencia y la productividad, al optimizar el uso de los recursos, reducir el consumo energético y minimizar las pérdidas y el desperdicio.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

- Incrementar la innovación y la diferenciación, al desarrollar nuevos productos y servicios basados en el conocimiento del mercado y las necesidades de los clientes.

6 Casos de éxito

A continuación, se presentan algunos ejemplos de éxito en la industria energética, donde se ha aplicado la analítica avanzada sobre los datos obtenidos mediante la monitorización en tiempo real con AVEVA PI System.

6.1 Modelo de optimización de parques eólicos

En este caso, se muestra cómo la analítica avanzada puede ayudar a diseñar y planificar proyectos de parques eólicos marinos, maximizando su rentabilidad y eficiencia. El reto consistía en encontrar la mejor configuración de los componentes del parque eólico, teniendo en cuenta los costes de inversión y de pérdidas de energía.



Para ello, se desarrolló un modelo de optimización, que buscaba minimizar los costes CAPEX y OPEX, sujeto a una serie de variables y restricciones. Entre las variables se encontraban el número, tipo y posición de los aerogeneradores, el tipo y longitud de los cables entre matrices, y el número y tipo de subestaciones marinas. Entre las restricciones se incluían las relacionadas con los cruces de los cables, las capacidades y pérdidas de estos, limitaciones físicas del suelo, número máximo de cables a usar, etc..

El modelo permitió encontrar la solución óptima para cada escenario, así como realizar análisis de sensibilidad y simulaciones de tipo "what-if" para evaluar el impacto de posibles cambios. Con esta herramienta, la empresa pudo definir el trazado más adecuado de sus parques eólicos, reducir los costes y gestionar los riesgos de forma más eficaz.

6.2 Modelos predictivos para la participación en mercados eléctricos

Una empresa independiente del sector energético renovable quería contar con un modelo analítico que diera soporte a la decisión en sus operaciones de compraventa de energía en los diferentes mercados eléctricos en España. Para ello, se desarrolló e implementó un algoritmo que determina con al menos 24 horas de antelación qué mercado eléctrico tendrá un mayor precio de venta para cada hora del día siguiente en el mercado diario y los mercados intradiarios.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

Además, aporta el precio previsto de venta eléctrica en cada uno de los mercados y el nivel de confianza de dicho resultado, reajustándose a lo largo del día para los mercados que se vayan a abrir (intradía) con la información disponible.

El algoritmo se basa en técnicas de aprendizaje automático y utiliza como variables de entrada los datos históricos de precios y demanda de los mercados eléctricos, así como las previsiones meteorológicas, que influyen en la generación de energía renovable. El modelo se entrena y se valida con los datos reales, y se actualiza periódicamente para incorporar los nuevos datos.

Con esta solución, la empresa pudo mejorar la toma de decisiones gracias a la capacidad predictiva, maximizando los resultados de las operaciones de compraventa. Asimismo, pudo disponer de información en tiempo real y realizar reajustes rápidos ante posibles cambios en las condiciones del mercado. Todo ello contribuyó a mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la venta de energía eléctrica.

6.3 Optimización de servicios de mantenimiento

Uno de los principales retos de las empresas de distribución eléctrica es garantizar la continuidad y calidad del suministro ante posibles averías o incidencias en la red. Para ello, deben contar con equipos de mantenimiento eficientes y bien coordinados, capaces de resolver los problemas en el menor tiempo posible y con el menor coste. Sin embargo, la planificación y asignación de estos equipos suele ser una tarea compleja y manual, que depende de muchos factores y que requiere de una gran flexibilidad ante las condiciones cambiantes del servicio.



Ante este escenario, una de las compañías energéticas líderes en España, que gestionaba la reparación de averías en zonas rurales mediante cuadrillas de mantenimiento asignadas a zonas, decidió buscar una solución que le permitiera optimizar el proceso y mejorar el rendimiento de sus recursos. El objetivo era contar con un sistema que resolviera los problemas de planificación y asignación de cuadrillas, evitando ineficiencias en las rutas, demoras en la atención y desequilibrios en la carga de trabajo.

6.4 Análisis predictivo para la generación eólica

Una empresa de generación eólica utilizó AVEVA PI System para recoger y almacenar los datos de más de 400 turbinas eólicas distribuidas en diferentes parques. Sobre estos datos, aplicó un modelo de aprendizaje supervisado basado en redes neuronales, que permitió predecir la

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

producción de energía de cada turbina con una precisión superior al 90%. Con esta información, la empresa pudo mejorar la planificación de la operación y el mantenimiento, así como la gestión de la demanda y la oferta de energía en el mercado.

6.5 Detección de anomalías para la distribución eléctrica

Una empresa de distribución eléctrica utilizó AVEVA PI System para integrar y visualizar los datos de más de 10,000 sensores instalados en la red de media y baja tensión. Sobre estos datos, aplicó un algoritmo de clustering no supervisado, que permitió agrupar los puntos de medida según su comportamiento normal y detectar aquellos que presentaban desviaciones o anomalías para localizar y resolver las incidencias de forma más rápida y eficaz.

6.6 Optimización de procesos para el refino de petróleo

Una empresa de refinación de petróleo utilizó AVEVA PI System para monitorizar los parámetros de los procesos de destilación, cracking, reformado e hidrotratamiento. Sobre estos datos, aplicó un modelo de optimización basado en programación lineal, que permitió maximizar el rendimiento de los productos finales, minimizando el consumo de energía y las emisiones contaminantes. Con esta información, la empresa pudo ajustar las condiciones de operación de acuerdo con las especificaciones de calidad y los precios del mercado, aumentando su rentabilidad y competitividad.

6.7 (Relacionado) Optimización de procesos de logística inversa

Uno de los retos más importantes del sector medioambiental es gestionar de forma eficiente y sostenible la recogida y el reciclaje de los residuos generados por la actividad humana. En particular, los envases ligeros, como botellas, latas o bricks, suponen una gran cantidad de residuos que deben ser separados y clasificados para su posterior tratamiento. Para ello, se requiere de un sistema de logística inversa que permita recuperar estos materiales desde los puntos de generación hasta las plantas de reciclaje, optimizando los recursos y minimizando el impacto ambiental.



MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

En este caso de uso, se presenta la solución desarrollada para una compañía del sector medioambiental que quería evaluar la implementación de un nuevo sistema de recolección de residuos de envases ligeros, centrado en recogidas puerta a puerta en establecimientos del canal Horeca y pequeños comercios de alimentos. El objetivo era contar con una herramienta de apoyo a la decisión que les ayudara a decidir sobre el nuevo paradigma logístico de recogida de residuos.

Para ello, se realizó un análisis mediante estimaciones basadas en datos poblacionales y estadísticas de residuos (cantidad de residuos generados, peso, etc.), y se diseñó una herramienta especializada que les permite simular distintos escenarios y tomar decisiones informadas sobre:

- Cuántos centros de acopio o centros logísticos poner, cuáles son las mejores ubicaciones para la red de recogida, cuántas máquinas de conteo de envases incluir en cada centro, qué periodicidad de recogida necesitaría cada punto de recogida, a qué plantas de reciclaje debe ir cada uno, etc.
- Optimizar así el diseño de este sistema y minimizar costes en infraestructura y transporte.

La herramienta resultante permite integrar y visualizar los datos de los sensores instalados en los contenedores, los vehículos de recogida y los centros de acopio. Sobre estos datos, se aplican algoritmos de optimización matemática, que permiten calcular la ruta óptima de recogida, teniendo en cuenta factores como el nivel de llenado de los contenedores, la distancia entre los puntos de recogida, el tráfico, el horario, la capacidad de los vehículos, etc.

Con esta información, la empresa puede gestionar de forma dinámica y eficiente el proceso de logística inversa, adaptándose a las condiciones cambiantes del entorno y maximizando el aprovechamiento de los recursos.

El impacto de esta solución se traduce en:

- Toma de decisiones basadas en datos y posibilidad de simulación.
- Optimización del proceso de logística inversa.
- Minimización de costes operativos.
- Reducción de la huella de carbono y mejora de la sostenibilidad ambiental.

6.8 (Relacionado) Optimización de la red de plantas de separación de residuos

La gestión de los residuos es una actividad clave para muchos sectores, ya que implica tanto el cumplimiento de la normativa ambiental como la generación de valor a partir de los recursos recuperados. Sin embargo, la logística inversa de los residuos presenta numerosas complicaciones, como la dispersión geográfica de los puntos de generación y recogida, la variabilidad en la cantidad y calidad de los residuos, o la complejidad de los procesos de tratamiento y reciclaje.

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.



Para optimizar la red de plantas de separación de residuos, se requiere de una herramienta que permita analizar diferentes escenarios y evaluar sus impactos económicos, ambientales y operativos. En este caso de uso, se presenta una solución basada en la inteligencia artificial que ayuda a una compañía del sector medioambiental a dimensionar y ubicar de manera óptima los centros de transferencia y plantas de selección de residuos dedicados al reciclaje.

Objetivo

La compañía del sector medioambiental quería contar con una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que le permitiera dimensionar de manera óptima los centros de transferencia y plantas de selección de residuos, y conocer sus ubicaciones óptimas, viendo cómo impactan las diferentes opciones a la huella de carbono y a los costes.

Solución

Se creó una herramienta que les permite simular diversos escenarios para evaluar la viabilidad de dos perspectivas: una enfocada en incrementar el número de centros de transferencia (con la consiguiente reducción en los costes y emisiones de transporte), y otra que favorece la instalación de centros más grandes y estratégicamente distribuidos (con el consiguiente descenso en costes de infraestructura). De esta manera pueden determinar el número óptimo de centros a construir, su ubicación estratégica y la capacidad de procesamiento de residuos para cada uno.

Impacto

- Toma de decisiones basadas en datos y posibilidad de simulación.
- Minimización de costes operativos.
- Reducción de emisiones de las actividades de transporte.

7 Beneficios para las empresas del sector energético

En resumen, la aplicación de la monitorización y la analítica avanzada proporciona soluciones a muchos de los retos que afronta el sector de la energía.

- Aumento de la eficiencia y la productividad al optimizar los procesos de producción, distribución y consumo de energía, mediante la detección de anomalías, la predicción de fallos, el ajuste de la generación y la demanda, y el mejoramiento del rendimiento de los equipos y las redes.
- Mejora de la competitividad y la rentabilidad al reducir los costes operativos y de mantenimiento, y al aprovechar las oportunidades de nuevos mercados y servicios, mediante la optimización de los recursos, la prevención de averías, la gestión de activos, la personalización de ofertas, y la creación de valor añadido para los clientes.
- Fortalecimiento de la resiliencia y la seguridad energética al diversificar las fuentes de energía, al gestionar mejor la demanda y la oferta, y al mitigar los riesgos de interrupciones o sabotajes, mediante una mayor visibilidad, control, flexibilidad y automatización de los sistemas energéticos, y la alerta de posibles amenazas o vulnerabilidades.
- Contribución a la transición ecológica y al cumplimiento de los objetivos climáticos al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, al fomentar el uso de energías renovables y al promover la movilidad sostenible, mediante la integración de las fuentes de energía limpias, la mejora de la eficiencia energética, la reducción de las pérdidas y los desperdicios, y el incentivo al uso de vehículos eléctricos.
- Mayor seguridad en las instalaciones, gracias a la detección avanzada de situaciones de riesgo, inspección automatizada
- Mejora de la reputación y la responsabilidad social al demostrar su compromiso con la innovación, el desarrollo sostenible y la satisfacción de los clientes y las partes interesadas, mediante la oferta de soluciones energéticas inteligentes, verdes y adaptadas a las necesidades y expectativas de cada usuario.
- Además, el uso de la analítica avanzada permite obtener insights valiosos a partir de los datos, que facilitan la toma de decisiones estratégicas, el diseño de escenarios futuros, el descubrimiento de patrones y tendencias, y la evaluación de los impactos de las acciones realizadas.

8 Hoja de ruta para la implementación

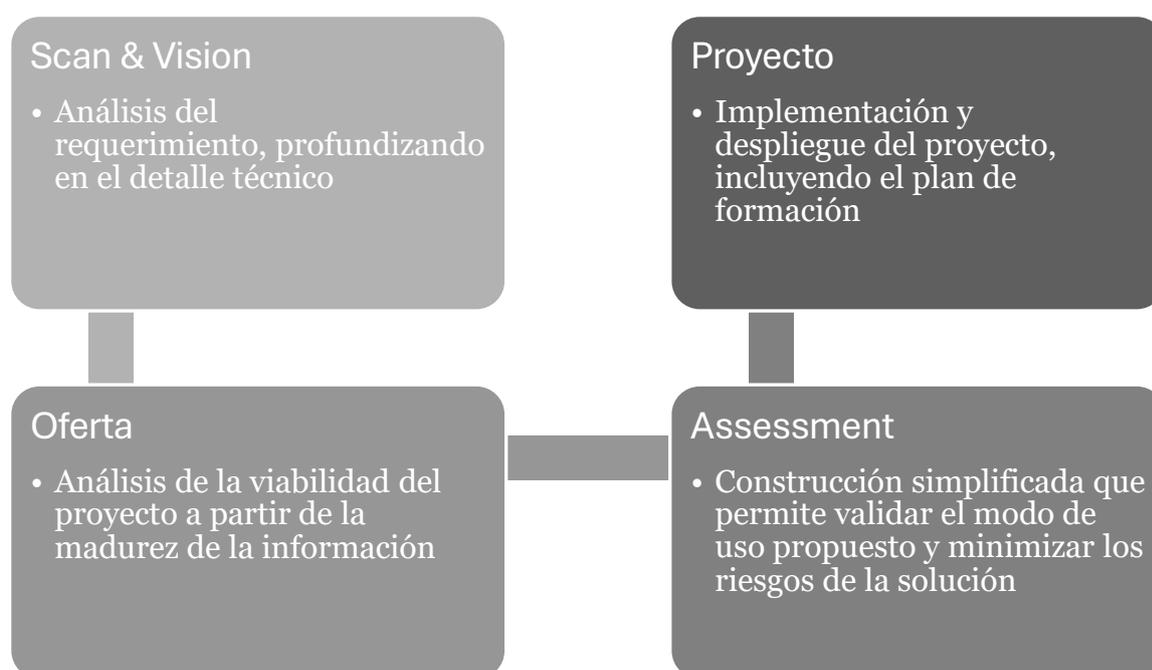
8.1 Pasos para la integración de soluciones

El primer paso para la integración de las soluciones de monitorización y analítica avanzada es realizar una sesión de consultoría, en la que se analicen los requerimientos, los objetivos y los recursos disponibles de la empresa, así como los posibles beneficios y riesgos de la implementación.

El segundo paso es analizar la viabilidad del proyecto a partir de la madurez de la información, concretando una oferta.

El tercer paso es realizar un assessment, en la que se aplique la solución de manera simplificada y se evalúe su rendimiento, su usabilidad y su valor añadido frente a la definición de éxito previamente definida.

El cuarto paso es desarrollar la solución y escalarla, adaptándola a las diferentes áreas, procesos y usuarios, y asegurando su integración con los sistemas existentes.



8.2 Recomendaciones para una transición con éxito

Para hacer una transición efectiva, se aconseja tener el respaldo y el compromiso de la dirección y los líderes de la empresa, así como de los empleados y las partes interesadas, comunicando claramente los beneficios y los objetivos de la solución, y promoviendo una cultura de innovación y colaboración.

También se aconseja elaborar una estrategia de gestión del cambio, que contemple actividades de formación, sensibilización, acompañamiento y retroalimentación, para favorecer la adopción y el uso de la solución por parte de los usuarios finales, y para resolver las posibles resistencias o dificultades que puedan presentarse.

Otra sugerencia es hacer un seguimiento y una evaluación continua de la solución, utilizando los indicadores de éxito establecidos previamente, y realizando ajustes o mejoras según los resultados obtenidos y el feedback recibido.

8.3 Consideraciones de gestión del cambio

La gestión del cambio es un aspecto clave para el éxito de la implementación de las soluciones de monitorización y analítica avanzada, ya que implica un cambio en la forma de trabajar, de pensar y de tomar decisiones de la empresa y de sus empleados.

Uno de los principales factores de éxito de la gestión del cambio es el cambio cultural, que supone adoptar una mentalidad abierta, flexible y orientada al aprendizaje, que valore la innovación, la experimentación y el uso de los datos como fuente de conocimiento e información.

Otro de los principales puntos a considerar es la formación, que debe capacitar a los usuarios para que puedan utilizar la solución de manera efectiva y eficiente, y para que puedan aprovechar al máximo las ventajas y las oportunidades que ofrece.

Para afrontar estos desafíos, se debe contar con una visión clara y compartida de los beneficios y los objetivos de la solución, así como con un plan de comunicación, formación y acompañamiento, que involucre y empodere a los usuarios, y que les brinde el apoyo y los recursos necesarios para facilitar la transición.

9 Conclusiones y contacto

Tras un análisis exhaustivo de los retos y oportunidades en el sector energético, y considerando las soluciones de monitorización y analítica avanzada propuestas, es crucial que se tomen acciones para transformar las operaciones de la empresa. A continuación, se resumen los puntos clave y las recomendaciones prácticas:

- **Eficiencia operativa:** La implementación de sistemas de monitorización avanzada y mantenimiento predictivo puede reducir significativamente los costes operativos y aumentar la fiabilidad.
- **Integración de renovables:** La optimización de la red eléctrica y el uso de analítica avanzada e IA son contribuyentes esenciales para gestionar la intermitencia y maximizar el uso de energías renovables.
- **Cumplimiento regulatorio:** Adaptarse a las normativas vigentes mediante tecnologías avanzadas garantizará el cumplimiento y promoverá la sostenibilidad.

Beneficios Esperados:

- **Reducción de costes:** Hasta un 20% en costes operativos a través de la eficiencia mejorada.
- **Mejora en la fiabilidad:** Reducción de tiempos de inactividad y mejora en la fiabilidad de suministro.
- **Cumplimiento y sostenibilidad:** Aseguramiento del cumplimiento regulatorio y promoción de prácticas sostenibles.

Visión a Futuro

Adoptar estas soluciones no solo mejorará las operaciones actuales, sino que también posicionará a la empresa como líder en innovación y sostenibilidad en el sector energético. A largo plazo, estas acciones permitirán una mayor resiliencia frente a cambios del mercado y regulaciones, asegurando un crecimiento sostenible y competitivo.

Si está interesado en conocer más sobre las soluciones de monitorización y analítica avanzada, y cómo pueden beneficiar a su empresa, le invitamos a contactar con julio@juliolema.com para concertar una sesión de consultoría gratuita, en la que podremos analizar su situación actual, sus expectativas y sus posibilidades de mejora.

10 Referencias

- [Naturgy presenta su plan estratégico a 2025, incluyendo objetivos de inversiones, digitalización y sostenibilidad.](#)
- [Detalles sobre inversiones en digitalización y mejora de redes eléctricas en 2023.](#)
- [Proyectos de gases renovables y nuevas direcciones en la empresa.](#)
- [Detalles de la estrategia de digitalización y proyectos de gases renovables.](#)
- [Análisis y reportes sobre emisiones de CO₂ y estrategias de sostenibilidad.](#)
- [Análisis de tendencias y predicciones sobre el uso de analítica avanzada e IA en la industria.](#)
- [Digitalization: Opportunities and Challenges for Energy Companies](#)
- [Digital Transformation in The Energy Industry: Overview and Tips](#)
- [El sector energético en España - Datos estadísticos | Statista.](#)
- [La crisis energética asfixia a la industria española | El País](#)
- [Estadísticas y balance energético | Idae](#)
- [Balances energéticos - MITECO](#)
- [Renewable Energy Software Solutions | AVEVA](#)
- [Duke Energy's Digital Transformation with AVEVA PI System](#)
- <https://resources.osisoft.com/presentations/pertamina--maintaining-indonesia-s-energy-security-with-aveva%E2%84%A2-pi-system%E2%84%A2-and-aveva%E2%84%A2-predictive-analytics/>
- <https://cdn.osisoft.com/osi/presentations/2021-aveva-pi-world/UC21NA-D0PI010-Capgemini-Willekens-Asset-Performance.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fcdn.osisoft.com%2Fosi%2Fpresentations%2F2021>
- [Decide Soluciones: Guía de la Energía 2024](#)
- [Resultados anuales - Cepsa. <https://www.cepsa.com/es/inversores/resultados-anuales>](#)
- [Red Eléctrica gana un 9% más en 2021 por el impulso de su negocio de satélites | El Periódico de España \(epe.es\)](#)
- [EDPR ganó 309 millones en 2023, un 50 % menos, por el abaratamiento de la electricidad - El Periódico de la Energía \(elperiodicodelaenergia.com\)](#)
- [20231024-NP-Resultados-3T-2023.pdf \(enagas.es\)](#)

11 Anexo: Principales actores y sus roles

Cepsa

Cepsa, aunque tradicionalmente conocida por su actividad en el sector de los hidrocarburos, ha iniciado una transición hacia las energías renovables y la sostenibilidad. La empresa está invirtiendo en proyectos de energía solar y eólica, y se ha comprometido a reducir sus emisiones de carbono. Su estrategia a largo plazo incluye diversificar su mix energético y liderar en la producción de biocombustibles y combustibles sintéticos. Cepsa también apuesta por la digitalización y la innovación para mejorar la eficiencia operativa y la experiencia del cliente.

En 2023, Cepsa reportó una cifra de negocio de 25.159 millones de euros. El EBITDA ajustado CCS fue de 1.402 millones de euros, y el beneficio ajustado atribuible después de impuestos CCS alcanzó los 278 millones de euros. Sin embargo, el beneficio atribuible después de impuestos NIIF fue de -233 millones de euros.

Endesa

Endesa, una de las principales empresas de energía eléctrica en España, ha centrado su estrategia en la descarbonización y la transición energética. La compañía planea cerrar sus plantas de carbón y aumentar significativamente su capacidad de generación renovable, especialmente en energía solar y eólica. Endesa también está invirtiendo en movilidad eléctrica y soluciones de almacenamiento de energía para apoyar la integración de las renovables en la red. A largo plazo, la visión de Endesa es convertirse en un líder en sostenibilidad y en el uso de tecnologías avanzadas para ofrecer servicios energéticos más eficientes y personalizados.

En el primer trimestre de 2024, Endesa reportó un beneficio neto de 742 millones de euros, con una previsión de ventas de 25.459 millones de euros para el año 2023. En términos comparables, el EBITDA disminuyó un 18% a 4.392 millones de euros.

Iberdrola

Iberdrola es una de las mayores empresas energéticas globales, con un fuerte enfoque en la energía renovable. Su estrategia se basa en una expansión agresiva de su capacidad de generación renovable, incluyendo inversiones en parques eólicos marinos y solares fotovoltaicos. Iberdrola también está avanzando en la digitalización de la red eléctrica y en el desarrollo de soluciones inteligentes para el hogar y la empresa. La empresa se ha comprometido a ser neutra en carbono para 2050 y está trabajando en proyectos de hidrógeno verde para complementar su cartera de energías renovables. La visión a largo plazo de Iberdrola es liderar la transición energética global hacia un sistema energético más sostenible y resiliente.

Iberdrola ha experimentado un crecimiento significativo en su cifra de negocio. En el primer trimestre de 2024, la empresa reportó un beneficio neto de 2.760 millones de euros, lo que representa un aumento del 36% en comparación con el mismo periodo del año anterior. Además, Iberdrola ha logrado una inversión total incrementada en un 36% y una generación renovable de 24.000 GWh en el trimestre.

Además, Iberdrola ha anunciado un plan estratégico para el periodo 2024-2026, con una inversión récord de 41.000 millones de euros destinada a impulsar la transición energética y fortalecer su modelo energético. Se espera que estas inversiones contribuyan a un EBITDA de

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

entre 16.500 y 17.000 millones de euros al final del periodo, con un beneficio neto estimado entre 5.600 y 5.800 millones de euros.

Naturgy

Naturgy, conocida por su fuerte presencia en el sector del gas natural, está diversificando su portafolio hacia las energías renovables y la sostenibilidad. La compañía está invirtiendo en proyectos de energía eólica y solar, y está desarrollando iniciativas en el campo del biogás y el hidrógeno verde. Naturgy también está trabajando en la mejora de la eficiencia energética y en la digitalización de sus operaciones para ofrecer servicios más competitivos y sostenibles. A largo plazo, Naturgy pretende ser un referente en la transición energética, proporcionando soluciones integradas que incluyan energía renovable, gas natural y tecnologías emergentes.

Naturgy ha demostrado ser un actor clave en el sector energético, con una sólida presencia tanto en el mercado del gas como en el eléctrico. En 2023, la compañía aumentó sus inversiones en un 53%, alcanzando los 3.000 millones de euros, con un enfoque particular en proyectos de transición energética en España. De esta suma, 1.730 millones de euros se destinaron a la generación de energía renovable y más de 900 millones de euros a las redes de distribución.

Además, Naturgy es líder en la distribución de gas en España con una cuota de mercado del 70% y es el tercer operador en el mercado español de distribución eléctrica, atendiendo a 3,8 millones de clientes. La capacidad instalada libre de emisiones de la empresa representa más del 40% de toda su potencia de generación eléctrica instalada.

Repsol

Repsol es una multinacional energética con una presencia destacada en el sector de hidrocarburos y una creciente apuesta por las energías renovables. La empresa ha diversificado su portafolio hacia la generación de electricidad renovable y la producción de biocombustibles avanzados. Repsol ha establecido objetivos ambiciosos de reducción de emisiones y está invirtiendo en proyectos de energía eólica y solar, así como en tecnologías emergentes como el hidrógeno verde, para avanzar hacia un futuro más sostenible y menos dependiente de los combustibles fósiles.

En el primer trimestre de 2024, Repsol reportó un beneficio neto de 969 millones de euros.

Red Eléctrica de España (REE)

Red Eléctrica de España (REE) es el operador del sistema eléctrico y el transportista único de electricidad en España. REE es responsable de garantizar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico, asegurar el suministro y gestionar la infraestructura de transporte de alta tensión. La empresa está a la vanguardia en la implementación de tecnologías de smart grid y soluciones de almacenamiento de energía para integrar de manera eficiente las energías renovables en la red y mejorar la estabilidad del suministro.

La cifra de negocio de Red Eléctrica de España al cierre de 2021 fue de 1.982,5 millones de euros, lo que representa una disminución del 1,6% en comparación con el año anterior. Este cambio se debió principalmente a la disminución de los ingresos del negocio regulado en España, que fue parcialmente compensado por un incremento del 18,7% en el negocio satelital y una mejor contribución de la sociedad brasileña ARGO. El resultado neto de explotación (EBIT) se situó en

MONITORIZACIÓN Y ANALÍTICA AVANZADA EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA.

992 millones de euros, un 6,8% superior al de 2020. La deuda financiera neta se redujo a 5.647,9 millones de euros, un 7,6% menos que al final de 2020.

Acciona Energía

Acciona Energía es una de las mayores empresas de energías renovables del mundo, con una fuerte presencia en la generación de electricidad a partir de fuentes limpias como la eólica, solar e hidroeléctrica. En España, Acciona Energía lidera proyectos innovadores y sostenibles, impulsando la transición energética con un enfoque en la reducción de emisiones y la mejora de la eficiencia energética. La empresa también está desarrollando soluciones avanzadas en almacenamiento de energía y participación en proyectos de hidrógeno verde.

En 2023, Acciona Energía registró una cifra de negocio de 1.850 millones de euros. Su EBITDA (ganancias antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización) fue de 1.200 millones de euros. En comparación con 2022, la cifra de negocio aumentó un 12%, mientras que el EBITDA creció un 15%.

EDP

EDP Renováveis (EDPR) es una empresa global dedicada a la generación de energía renovable, con un enfoque particular en la energía eólica y solar. En España, EDPR opera numerosos parques eólicos y solares, contribuyendo significativamente al mix energético renovable del país. La empresa se centra en la innovación tecnológica y la optimización de sus operaciones para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de sus proyectos energéticos, alineándose con los objetivos globales de reducción de emisiones.

En 2023, EDP Renováveis (EDPR) reportó una cifra de negocio en España de 2.239 millones de euros, lo que representa una disminución del 6% en comparación con el año anterior. Esta reducción se debió principalmente al menor precio medio de venta de la electricidad, que fue un 6% inferior al de 2022. A pesar de esto, la generación de electricidad aumentó un 4%.

Enagás

Enagás es el principal operador de infraestructuras de gas natural en España, gestionando la red de transporte de gas y las plantas de regasificación. La empresa está diversificando su negocio hacia proyectos de energía sostenible, incluyendo el desarrollo de infraestructuras para el hidrógeno verde y el biometano. Enagás también trabaja en la integración de soluciones digitales y tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y la seguridad de sus operaciones, apoyando la transición hacia una economía descarbonizada.

En el año 2023, Enagás en España reportó un Beneficio Después de Impuestos (BDI) de 342,5 millones de euros, superando así las expectativas de su Plan Estratégico 2022-2030 y los objetivos previstos para el año. El EBITDA de la compañía se situó en 780,3 millones de euros, a pesar de una reducción de 48 millones de euros en los ingresos regulados debido a la aplicación del marco regulatorio 2021-2026. La deuda neta de Enagás fue de 3.347 millones de euros, por debajo del objetivo de 3.700 millones de euros, y más del 80% de la deuda está cubierta a tipo fijo, con un coste financiero del 2,6% y una vida media de 4,9 años. Enagás también destacó como el mayor operador mundial en recarga de buques con 157 cargas realizadas, un 26% más que en 2022, y por primera vez, los almacenamientos subterráneos de España estuvieron al 100% de llenado desde comienzos de agosto.

TotalEnergies

TotalEnergies es una compañía global de energía con operaciones en los sectores de petróleo, gas y renovables. En España, TotalEnergies está incrementando su participación en el mercado de energías renovables mediante inversiones en proyectos solares y eólicos. La empresa se compromete a alcanzar la neutralidad en carbono para 2050 y está desarrollando soluciones innovadoras en almacenamiento de energía y eficiencia energética. TotalEnergies busca liderar la transición energética proporcionando energía asequible, segura y limpia.

12 Anexo: El caso de la modernización de contadores de electricidad

En España, la implantación de contadores digitales comenzó hace más de una década y ha avanzado significativamente, con millones de dispositivos instalados en hogares y empresas. Este cambio ha supuesto una serie de ventajas tanto para los consumidores como para las compañías eléctricas:

- **Medición precisa y transparente.** Los contadores digitales ofrecen una medición más precisa del consumo eléctrico, eliminando las estimaciones y proporcionando datos reales. Esto se traduce en facturas más precisas y transparentes, lo que mejora la confianza de los consumidores en el sistema eléctrico.
- **Lectura remota y en tiempo real.** La digitalización permite la lectura remota de los contadores, eliminando la necesidad de visitas periódicas por parte de los técnicos. Además, los datos en tiempo real facilitan la gestión eficiente de la red eléctrica y la identificación rápida de problemas o anomalías.
- **Gestión eficiente del consumo.** Los consumidores pueden acceder a sus datos de consumo en tiempo real, lo que les permite gestionar mejor su uso de electricidad y adoptar medidas para ahorrar energía. Esto es especialmente útil con tarifas de discriminación horaria, que incentivan el consumo en horas de menor demanda.
- **Detección y reducción de pérdidas no técnicas.** Los contadores digitales facilitan la detección de fraudes y conexiones ilegales, ayudando a las empresas a reducir las pérdidas no técnicas. La detección temprana de estas actividades protege la integridad de la red y reduce los costes operativos.
- **Integración con energías renovables.** La precisión y la capacidad de gestionar datos en tiempo real de los contadores digitales son fundamentales para integrar eficientemente las fuentes de energía renovable. Estos dispositivos permiten ajustar la producción y el consumo en función de la disponibilidad de energía solar y eólica, mejorando la estabilidad y la eficiencia de la red.
- **Facilitación del mantenimiento predictivo.** La capacidad de los contadores digitales para proporcionar datos continuos y detallados permite la implementación de programas de mantenimiento predictivo. Esto significa que las empresas pueden anticipar y resolver problemas antes de que causen interrupciones del servicio, mejorando la fiabilidad de la red.