



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE ASUNTOS ECONÓMICOS  
Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL

red.es



Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia

Optimización de la combustión de biomasa y subproductos afines en calderas industriales, mediante la metodología del Machine Learning y Big Data



**3BD**  
Biomass Boiler Big Data



red.es



**Revolucionando la Biomasa  
Proyecto 3BD, inteligencia  
artificial para calderas  
industriales.**

*Proyecto de investigación y desarrollo en inteligencia artificial y otras tecnologías digitales, realizado gracias al apoyo financiero de la Unión Europea, Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) Una manera de hacer Europa*



01

# 3BD Introducción

# 3BD, IA en calderas de biomasa

El **Proyecto 3BD Biomass Boiler Big Data**, realizado por Termosun, representa una **iniciativa innovadora** en el corazón mismo de la **transformación de la biomasa**. Implementando la tecnología de la **inteligencia artificial en calderas de biomasa de alta potencia dirigidas al sector industrial**, su misión principal radica en la **optimización del rendimiento energético**, generando una serie de beneficios importantes.



# Una solución eficiente y sostenible



Orientado a **reducir drásticamente los impactos ambientales**, mejorando la eficiencia de la combustión, disminuyendo las emisiones de gases contaminantes y contribuyendo notablemente a la **lucha contra el cambio climático**.

La implementación de esta tecnología posee el potencial de **disminuir los costos operativos y de mantenimiento** de las calderas, generando **ahorros económicos significativos** para las empresas y comunidades que emplean estos sistemas de calefacción de biomasa.

**IA aplicada a calderas de biomasa**

## IA aplicada a calderas de biomasa

La solución en estudio que está desarrollando Termosun, con el nombre “**3BD - Biomass Boiler Big Data**”, pretende ofrecer al mercado de las calderas de biomasa, una solución para garantizar el desempeño funcional en términos de **rendimiento energético, reducción de impactos y reducción de costes de operación y mantenimiento**..

La combustión en el horno de la caldera y la recuperación de energía a partir de la biomasa forman un **sistema complejo** con diversas variables, como la humedad y la reología de la biomasa. Estos factores son esenciales para alcanzar la **máxima eficiencia** en la conversión de energía, asegurando **emisiones mínimas** y un **consumo óptimo** de biomasa.

El avance del **proyecto de inteligencia artificial 3BD** implica el desarrollo de tres modelos independientes. Estos modelos están diseñados para perfeccionar tanto la optimización de la combustión de la caldera como las funciones del técnico-operador asociado.

El **proyecto 3BD (Biomass Boiler Big Data)** nace con el fin de mejorar los modelos de algoritmo actuales mediante tratamientos de Machine Learning, disciplina del campo de la Inteligencia Artificial que, a través de la obtención de gemelos y la creación de algoritmos, permite identificar patrones en datos masivos Big Data para elaborar predicciones que permitan digitalizar el funcionamiento de la caldera para su óptima combustión, rendimiento y mínimas emisiones.

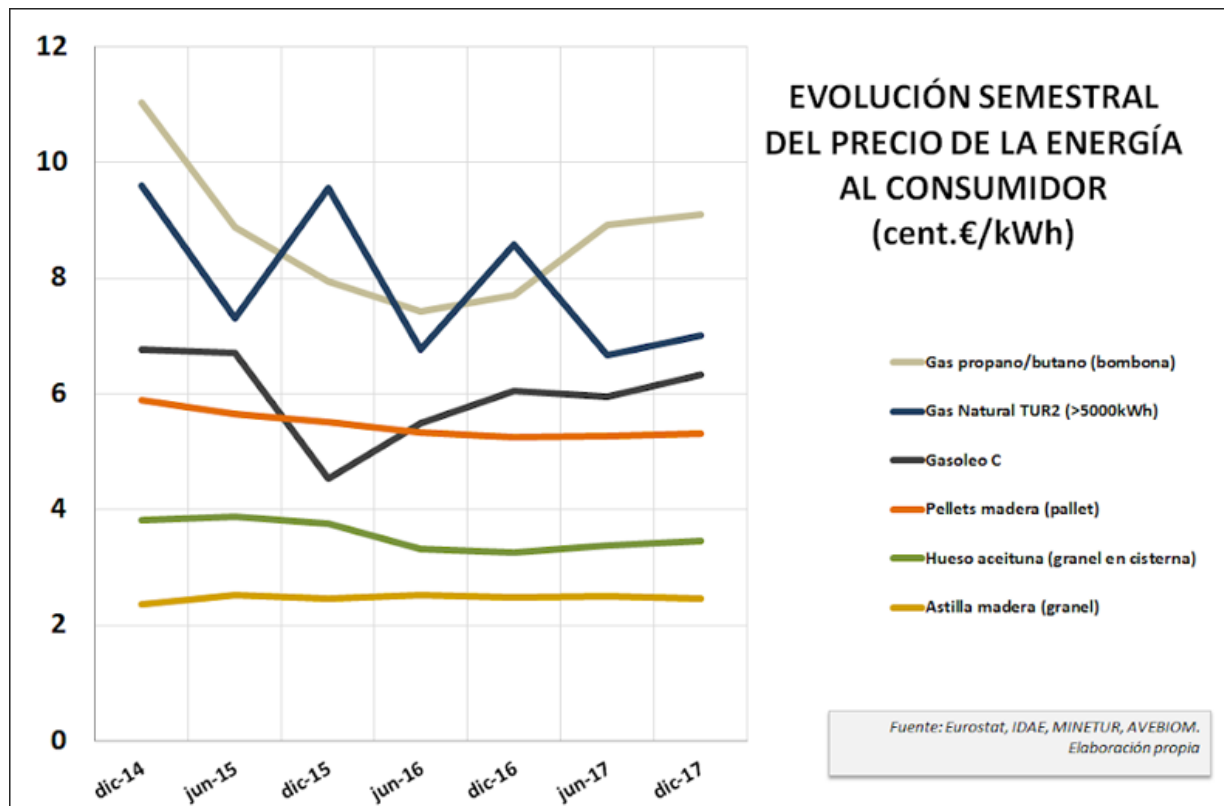


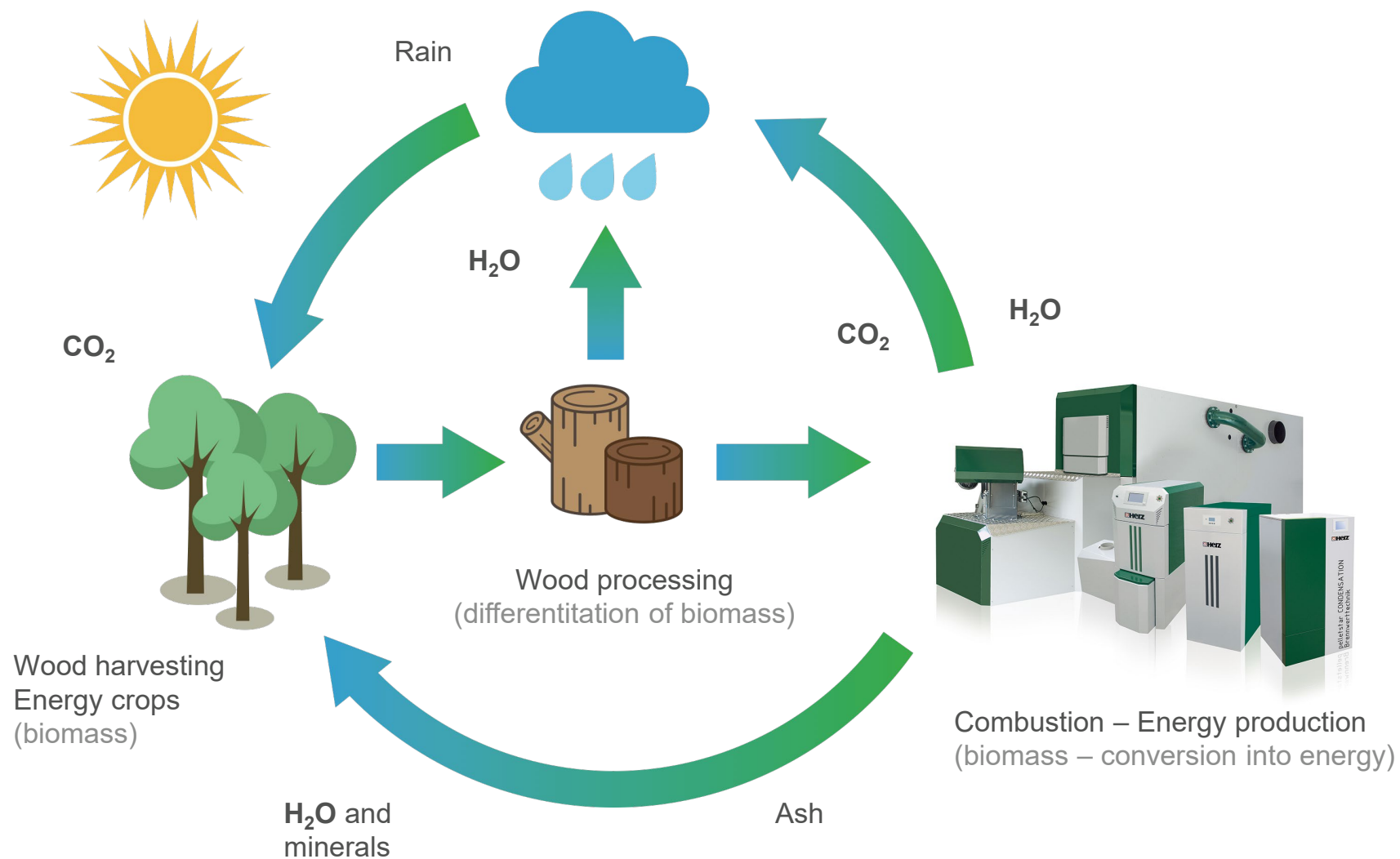
02

¿Por qué en calderas de **Biomasa**?

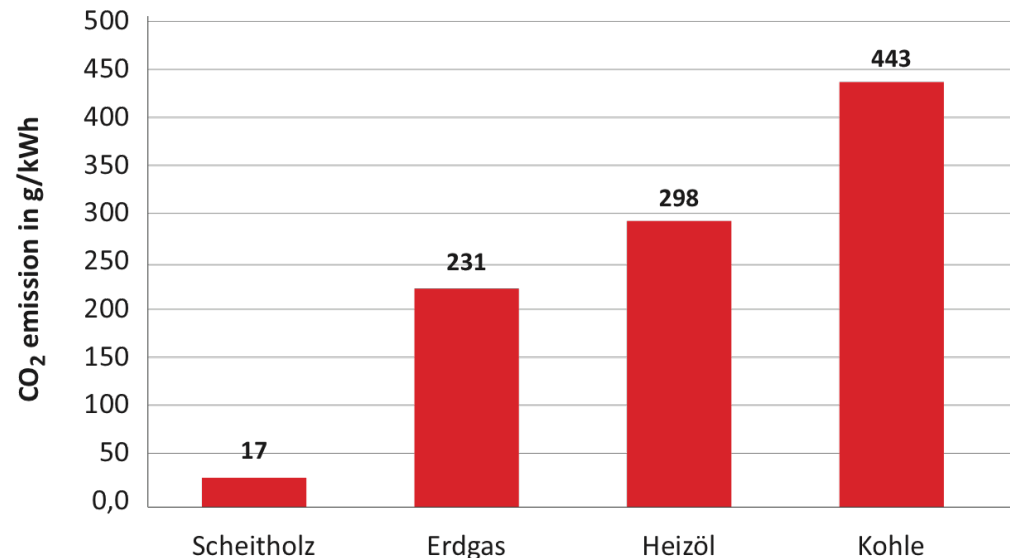
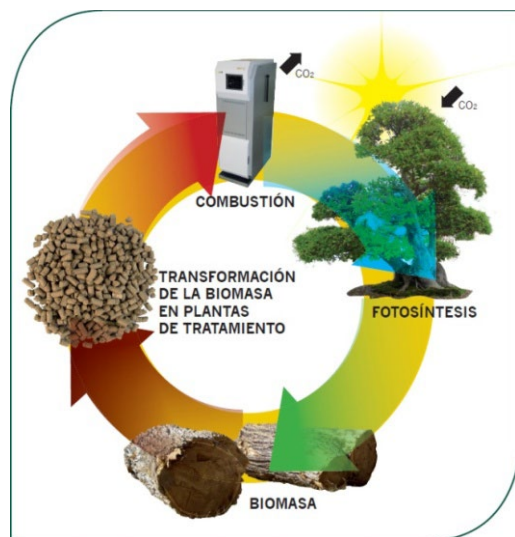


## Biomasa, económica y estable.





**BIOMASA – CO<sub>2</sub> NEUTRO (I)**



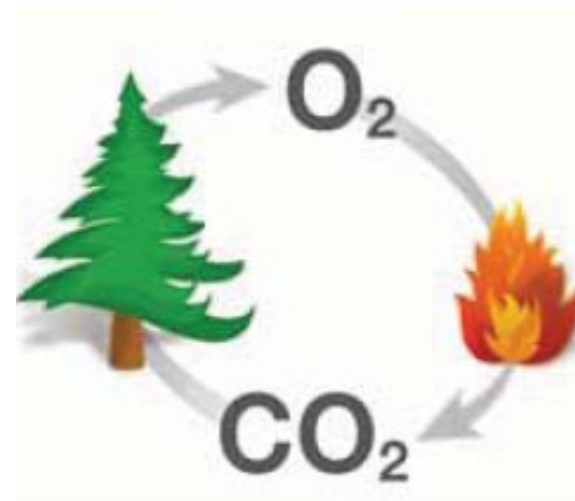
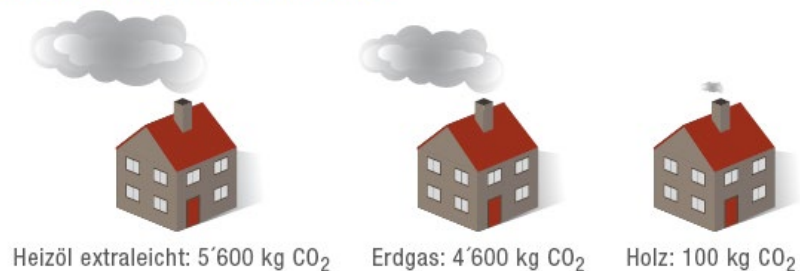
Gas **14** veces más CO<sub>2</sub> que la Biomasa - Gasoil **18** veces más CO<sub>2</sub> que la Biomasa  
 Carbón **26** veces más CO<sub>2</sub> que la Biomasa

*El bosque necesita para su crecimiento la misma cantidad de CO<sub>2</sub>, como la que se desprende al quemar la madera.*

## BIOMASA – CO<sub>2</sub> NEUTRO (II)



Ökobilanz beim Einfamilienhaus - Basis 20'000kW im Jahr



Gas **14** veces más CO<sub>2</sub> que la Biomasa - Gasoil **18** veces más CO<sub>2</sub> que la Biomasa  
Carbón **26** veces más CO<sub>2</sub> que la Biomasa

*El bosque necesita para su crecimiento la misma cantidad de CO<sub>2</sub>, como la que se desprende al quemar la madera.*

## Tipos de biomasa para **usos térmicos e industriales**



### **PELLET**

Normativa:

Önorm M 7135

DIN 51 731

Din plus

**Nueva Normativa**

**Europea EN 14961-2**

**Enplus A1/A2/B**

### **ASTILLA**

Normativa:

Önorm M 7133

NORMA CEN/TS

14961:2005

### **TRONCOS DE MADERA**

M25. Normativa

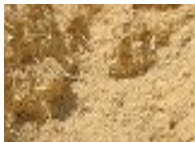


EN ISO 17225-5

### **HUESOS DE ACEITUNA**

M25. Normativa

UNE 164003:2014

## Tipos de biomasa para usos térmicos e industriales II

	Sistemas de combustión	RRF	SRF-S	SRF-H	TSRF	PSRF
	Polvo de lijar	•			•	
	Serrín	•			•	
	Virutas de tableros	•	•		•	
	Fibras, MDF	•	•		•	
	Astillas	•	•		•	
	Madera procedente de la conservación de bosques		•	•		
	Astillas de origen industrial		•	•		

	Sistemas de combustión	RRF	SRF-S	SRF-H	TSRF	PSRF
	Corteza			•		
	Madera desmenuzada			•		
	Cultivos energéticos		•		•	
	Orujo, residuos de producción de zumos de frutas		•		•	
	Pellets de madera	•				•
	Pellets industriales	•				•
	Pellets de turba y agrícolas					•

## Comparativa de **combustibles** (I)

1000 litros de gasoil



2000 Kg Pellets



5m<sup>3</sup> Leña de haya



1000 m<sup>3</sup> de gas



12 m<sup>3</sup> Astilla

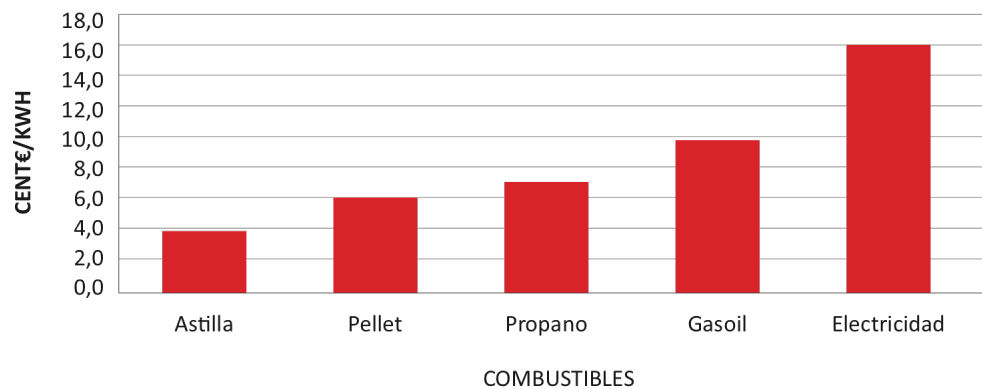


21 m<sup>3</sup> Miscanthus



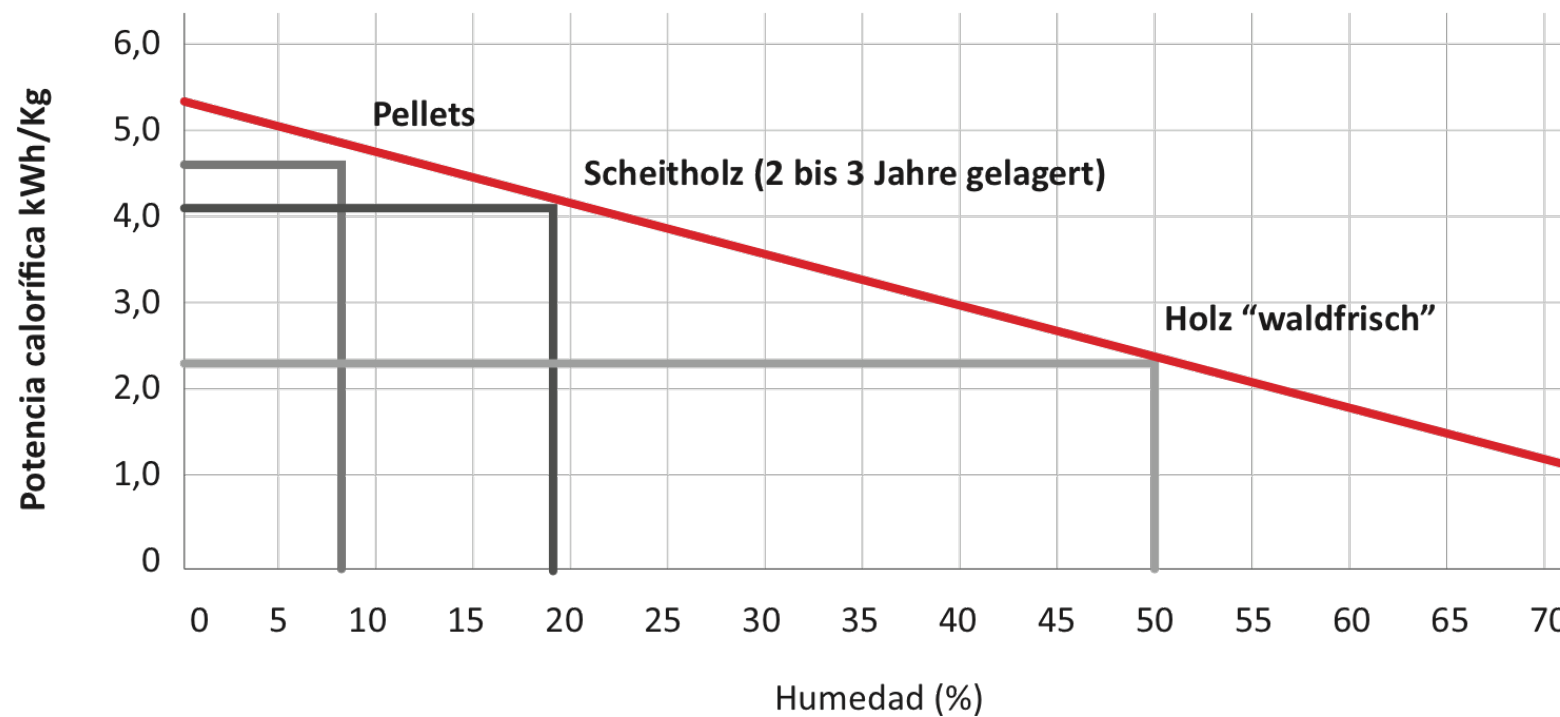
## Comparativa de combustibles (I)

COMBUSTIBLES	PCI (kWh/Kg)	CENIZAS	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	(kWh/m <sup>3</sup> )	PRECIO (€/Tn)	COSTE ENERGÍA	
						(€/kWh)	(CENT €/kWh)
Astilla humedad <30%	3,5	1,50%	300	1.050	95	0,027	2,71
Pellet humedad <10%	5	0,50%	650	3.250	220	0,044	4,40
Gas natural	11,5		0,85	9,8		0,050	5,00
Propano	12,7		1,86	23,6	0,90 (€/Kg)	0,070	7,00
Gasoil	11,8	0,005%	800	9.440	0,90 (€/litro)	0,095	9,50
Electricidad						0,160	16,00





## Potencia calorífica kWh/Kg



## Normativa europea pellet

NORMA PELLETS	DIN 51 731	ÖNORM M 7135	CERTIFICACIÓN DIN PLUS
Diámetro	4 hasta 10 mm	4 hasta 10 mm	
Longitud	< 50 mm	< 5 x d	< 5 x d
Densidad	> 1,0-1,4 kg/dm <sup>3</sup>	> 1,12 kg/dm <sup>3</sup>	> 1,12 kg/dm <sup>3</sup>
Humedad	< 12 %	< 10%	< 10%
Cenizas	< 1,5 %	< 0,5 %	< 0,5 %
Potencia calorífica	17,5 - 19,5 MJ / kg	> 18 MJ / kg	> 18 MJ / kg
Azufre	< 0,08 %	< 0,04 %	< 0,04 %
Nitrogeno	< 0,3 %	< 0,3 %	< 0,3 %
Cloro	< 0,03 %	< 0,02 %	< 0,02 %
Arsénico	< 0,8 mg / kg		< 0,8 mg / kg
Plomo	< 10 mg / kg		< 10 mg / kg
Cadmio	< 0,5 mg / kg		< 0,5 mg / kg
Cromo	< 8 mg / kg		< 8 mg / kg
Cobre	< 5 mg / kg		< 5 mg / kg
Zinc	< 100 mg / kg		< 100 mg / kg
Compresión		< 2%	< 2%

## Normativa para **astillas**

### Granulometría

NORMA UNE-CEN/TS 14961			
	Porción fina (máx. 5%)	Porción principal (mín. 80%)	Porción grande (máx. 1%)
P16	< 1 mm	3,15 – 16 mm	> 45 mm, todas < 85 mm de longitud
P45	< 1 mm	3,15 – 45 mm	> 63 mm
P63	< 1 mm	3,15 – 63 mm	> 100 mm
P100	< 1 mm	3,15 – 100 mm	>200 mm

NORMA ÖNORM 7133						
	Rangos de granulometría (mm)				Valores máx. permitidos	
	máx. 20%	60 – 100%	máx. 20%	máx. 4%	Sección máx.	Long. cm
G30	> 16	16 – 2,8	2,8-1	< 1	3 cm <sup>2</sup>	8,5
G30	> 31,5	31,5 – 5,6	5,6 -1	< 1	5 cm <sup>2</sup>	12
G30	> 63	63 – 11,2	11,2-1	< 1	10 cm <sup>2</sup>	25

### Humedad

NORMA UNE-CEN/TS 14961	
M 20	≤ 20 %
M 30	≤ 30 %
M 40	≤ 40 %
M 55	≤ 55 %
M 65	≤ 65 %

NORMA ÖNORM 7133	
W 20	≤ 20 %
W 30	20 - 30 %
W 35	30 - 35 %
W 40	35 - 40 %
M 50	40 - 50 %

# Combustibles a revalorizar

La recuperación de energía de residuos de poda ofrece una oportunidad interesante para los agricultores y también una solución para resolver el problema de su disposición.

Para obtener el valor agregado máximo del material de desperdicio, sin embargo, es necesario organizar la recolección lo más eficientemente posible y un mantenimiento adecuado de las calderas de biomasa





## IA aplicada a calderas de biomasa

El notable aumento de los precios del gas de origen fósil, así como el aumento del precio de los créditos de carbono, están empujando a un gran número de industrias en España hacia la conversión de sus plantas térmicas, substituyendo las tradicionales y obsoletas calderas de gas por calderas que empleen biocombustibles renovables, como bien son la biomasa forestal y los subproductos agroindustriales.

Existe, por tanto, una creciente demanda de calderas de biomasa en la industria alimentaria, automovilística, química, etc. pero desde **Termosun** observamos que los operadores y mantenedores industriales no disponen de suficientes habilidades para la gestión de calderas, asegurando la máxima eficiencia energética, así como la mínima emisión de contaminantes.

El manejo en la operación y mantenimiento de las calderas de biomasa es superior a la simplicidad de operación de las calderas a gas y este salto tecnológico debe ser respaldado por tecnologías de control avanzadas, evitando dejar en muchos casos la eficiencia de la caldera a virtud del operador.



03

**3BD el proyecto**

## Avanzamos en el desarrollo de la **tecnología más avanzada.**

La combustión en el horno de la caldera y la recuperación de energía a partir de la biomasa forman un **sistema complejo** con diversas variables, como la humedad y la reología de la biomasa. Estos factores son esenciales para alcanzar la **máxima eficiencia** en la conversión de energía, asegurando **emisiones mínimas** y un **consumo óptimo** de biomasa.



## La vida útil de las calderas de biomasa

La ausencia de mecanismos de monitorización y control en tiempo real de la combustión puede ocasionar que su vida útil se vea sustancialmente reducida o incluso sufran importantes defectos que provoquen emisiones a la atmósfera o sobreconsumos de biomasa.

Son muchos los casos en que las calderas no son bien operadas y se producen situaciones indeseadas sin que los operadores sean capaces de detectar e identificar a tiempo el parámetro que ha provocado el error, por tanto, es necesario maximizar la “visibilidad” del funcionamiento interior de la caldera y ofrecer al operador una mayor inmediatez y calidad del dato inmerso en la capa de automatización y vinculado con el control de proceso.

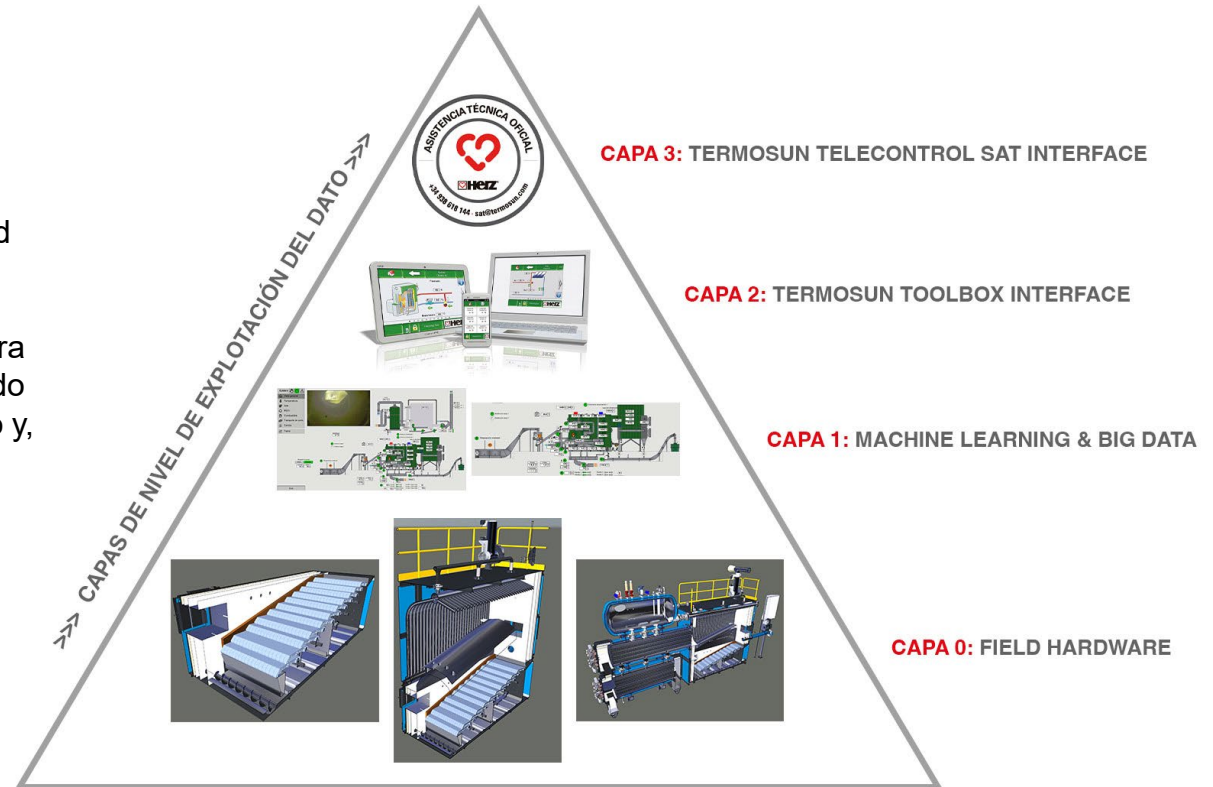




## Innovación

La innovación de este proyecto radica en el desarrollo de nuevos mecanismos que permiten la combinación de datos de caldera con predicción basada en imágenes para obtener una visión global del funcionamiento de la caldera y poder así aumentar su productividad

Tal y como se muestra en la siguiente imagen, las herramientas para la explotación del dato se ordenan en diferentes capas, comenzando por la capa 0, también conocida como capa de *hardware* de campo y, progresivamente, escalando la información a capas superiores de adquisición, interpretación, iteración y alteración de parámetros de operación para culminar finalmente con el reporte al servicio de asistencia técnica..



## Fases del Proyecto para la aplicación de Inteligencia Artificial

- Fase 1 - Análisis Caldera Piloto
- Fase 2 - Monitorización Caldera Piloto
- Fase 3 - Detección de Puntos óptimos de funcionamiento
- Fase 4 - Modelo de optimización

## Fases 1: Análisis de la caldera piloto

En la primera fase de análisis de la caldera piloto se recopila información de sus componentes, modo de funcionamiento, se identifican las potenciales optimizaciones, se determinan los niveles de funcionamiento normales y se genera una documentación de análisis

- Recopilación información de componentes
- Caracterización de Máquina Piloto
- Identificación de potenciales optimizaciones según análisis
- Configuración de los niveles iniciales de funcionamiento

## Fases 2: Monitorización de la caldera piloto

En la fase 2 se realiza una ingesta de los parámetros y variables de máquina e imágenes de la llama. Se analizan los datos provenientes de la máquina y se analizan patrones de funcionamiento. Se creará un gemelo digital mediante ML de la caldera y se crearán modelos predictivos de funcionamiento y de tipo de llama. Estos modelos se pondrán en pre-producción para validar su funcionamiento y obtener valores de predicción.

- Ingesta de datos y EDA
- Modelos ML patrones funcionamiento
- Automatización del Pipeline de predicciones e integración con plataforma de visualización
- Modelo predictivo de tipo de llama
- Integración y Puesta en pre-producción

## Fases 3: Detección de puntos óptimos de funcionamiento

En la fase 3 se analizan los resultados y predicciones de los modelos de la fase 2 y se combinan con las variables de máquina para poder disponer de un conocimiento sobre la relación entre variables y resultados de predicción y el punto óptimo de funcionamiento de la caldera. Se crea una serie de modelos de predicción de parámetros óptimos de funcionamiento

- EDA exhaustivo
- Modelos ML predicción de puntos óptimos
- Automatización del Pipeline de predicciones e integración con plataforma de visualización
- Integración y Puesta en pre-producción

## Fases 4: Modelo de optimización

En esta fase 4 final, se analizan los resultados de los diferentes modelos de optimización de la fase anterior y combinándolos con las variables de máquina y el objetivo de optimización se crea un modelo completo de optimización de máquina que proporciona como salida los parámetros necesarios para el óptimo funcionamiento de la caldera.

- EDA exhaustivo
- Modelos ML de optimización
- Automatización del Pipeline de predicciones e integración con plataforma de visualización
- Integración y Puesta en pre-producción solución completa Piloto
- Seguimiento evolución modelos en pre-producción

## Caldera piloto

El proyecto ha sido implementado en una caldera de biomasa para producción de vapor de 2 t/h - 15bar



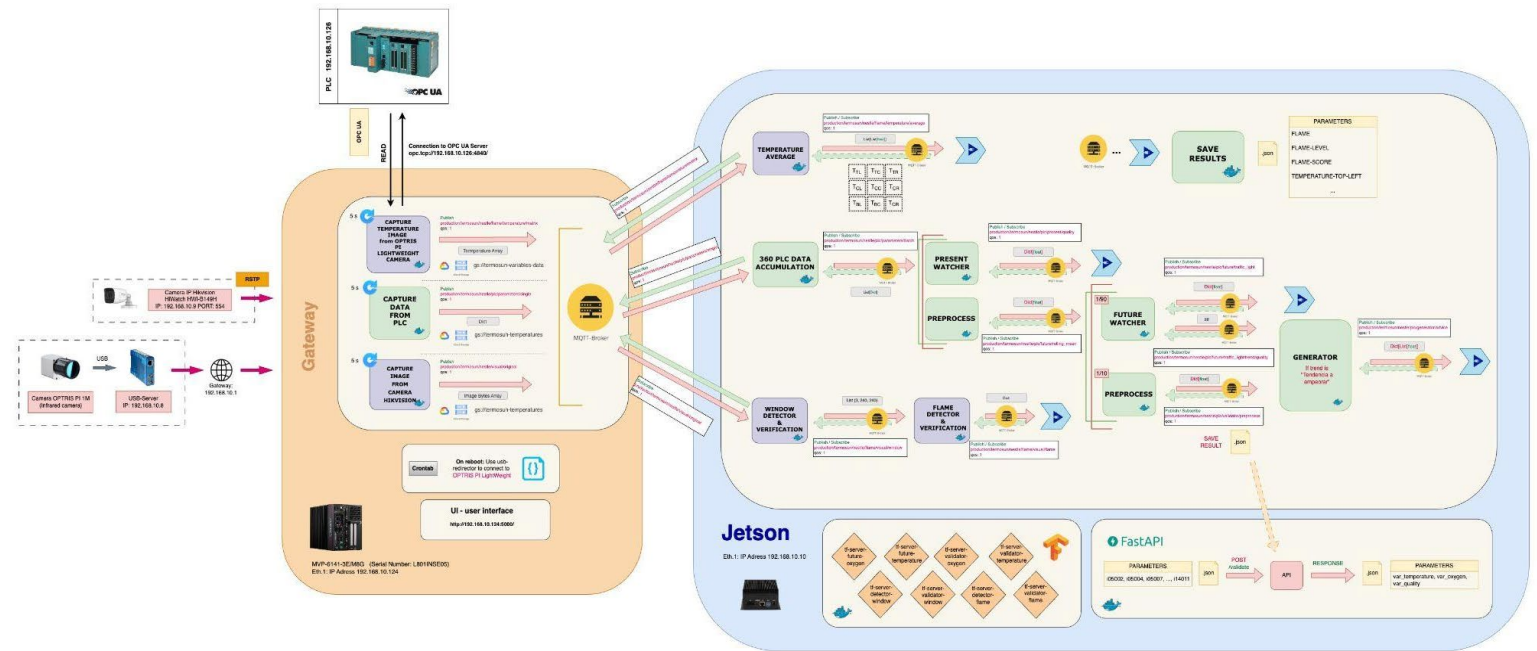
## Caldera piloto

Especificaciones técnicas	
Tipo de caldera	Caldera de vapor
Capacidad de calefacción	2.000 kg/h vapor
Presión de trabajo	15 bar (nominal)
Presión de diseño	18 bar
Presión apertura válvulas	18,9 bar y 19,8 bar
Temperatura agua alimentación	Agua - 95°C
Tipo de combustible	Cascara de cacao
Poder Calorífico Inferior del combustible	≥ 3.750 kcal/kg
Cenizas	9,5% (máx.)
Humedad combustible	≤ 10%
Sistema de control	Automático, Variador de Frecuencia
Presión agua alimentación en la sala de calderas	4 bar(mín.)



# Esquema de arquitectura

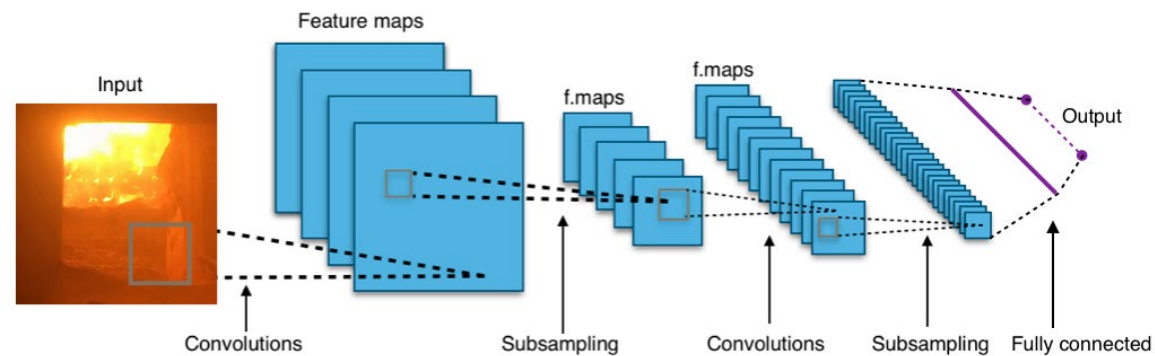
El proyecto está dividido en dos dispositivos diferentes, un dispositivo MVP-6141 de Adlink que funcionara de Gateway para captar datos, y otro dispositivo DLAP-401 de Adlink que se encargara de todas las analíticas de los datos.



Esquema de arquitectura

## Modelos para la cámara visual

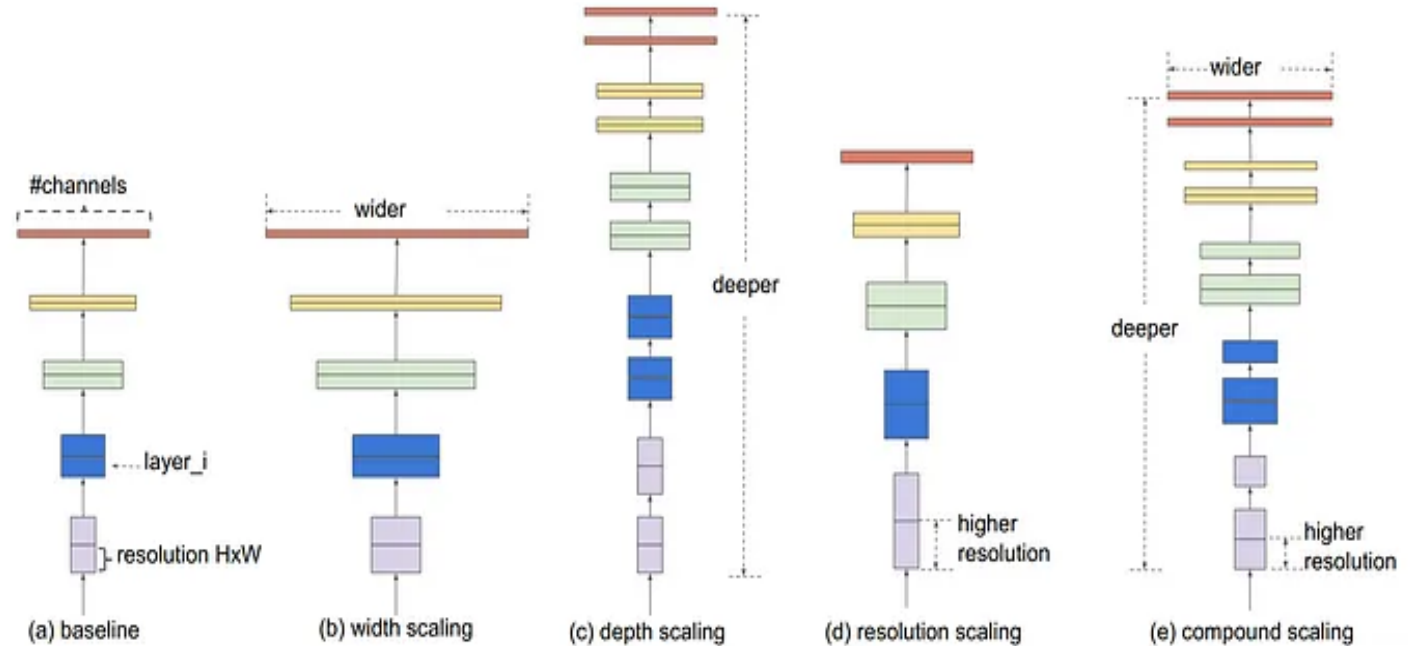
Hemos desarrollado cuatro modelos para el tratamiento de los datos procedentes de la cámara visual. De los cuales, dos son necesarios por procesos internos del pipeline y 2 son necesarios para el diagnóstico de funcionamiento de la caldera.



Esquema de una Red Neuronal de Convolución (CNN)

# Modelos para la cámara visual

Esquema de las redes  
propuestas  
(EfficientNet)



## Modelos de IA

El objetivo de los modelos de Inteligencia Artificial en este proyecto es ser una herramienta clave para mantener la caldera en régimen óptimo el mayor tiempo posible

Planteamos 4 modelos, un modelo heurístico y tres modelos de inteligencia artificial:

1. **Modelo Vigilante del Presente** (Present Watcher), vigila la calidad de combustión en el presente; El modelo permite el control 24/7 de los parámetros de la caldera para la detección inmediata de pérdida en la calidad de combustión.
2. **Modelo Vigilante del Futuro** (Future Watcher), predice la calidad de combustión del futuro; El modelo permite anticiparse a un mal funcionamiento de la caldera, de forma que podemos aplicar correcciones con antelación y no llegar a salir del régimen óptimo de combustión.
3. **Modelo Validador**, valida un set de correcciones y da como resultado si con dichas correcciones la calidad de combustión mejorará o empeorará;
4. **Modelo Recomendador** (o Módulo de recomendación), usa como sub-modelo al modelo validador. Cuando la calidad de combustión empeora el modelo recomendador recomienda un set de correcciones que llevaran a la caldera a una mejora calidad de combustión.

## Modelos de IA

La estrategia de optimización se centra en mantener la caldera funcionando en su régimen óptimo el mayor tiempo posible. Para lograr este objetivo, se ha optado por integrar soluciones basadas en IA que ofrecen múltiples ventajas:

- **Inmediatez en la Vigilancia:** Implementando IA para la monitorización constante de los parámetros actuales de la caldera, se minimizan los retrasos en la respuesta, permitiendo una detección eficiente y temprana de cualquier desviación.
- **Control 24/7:** La vigilancia continua garantiza que la caldera opere siempre en condiciones óptimas, con sistemas de alerta inmediatos ante cualquier reducción en la calidad de la combustión.
- **Visión Mejorada de la Llama:** El uso de IA para el análisis ininterrumpido de la llama, tanto de forma remota como directa, facilita la detección y corrección rápidas de anomalías.
- **Anticipación:** La capacidad de la IA para predecir cambios en el régimen de funcionamiento y posibles fallos, posibilita intervenciones proactivas, asegurando la permanencia en el régimen óptimo.
- **Asesoramiento Automatizado:** La IA propone ajustes y correcciones necesarias, aligerando la carga de los operarios y mejorando la eficiencia general del proceso.

## Estrategia de optimización

La estrategia de optimización se centra en mantener la caldera funcionando en su régimen óptimo el mayor tiempo posible. Para lograr este objetivo, se ha optado por integrar soluciones basadas en IA que ofrecen múltiples ventajas:

- **Inmediatez en la Vigilancia:** Implementando IA para la monitorización constante de los parámetros actuales de la caldera, se minimizan los retrasos en la respuesta, permitiendo una detección eficiente y temprana de cualquier desviación.
- **Control 24/7:** La vigilancia continua garantiza que la caldera opere siempre en condiciones óptimas, con sistemas de alerta inmediatos ante cualquier reducción en la calidad de la combustión.
- **Visión Mejorada de la Llama:** El uso de IA para el análisis ininterrumpido de la llama, tanto de forma remota como directa, facilita la detección y corrección rápidas de anomalías.
- **Anticipación:** La capacidad de la IA para predecir cambios en el régimen de funcionamiento y posibles fallos, posibilita intervenciones proactivas, asegurando la permanencia en el régimen óptimo.
- **Asesoramiento Automatizado:** La IA propone ajustes y correcciones necesarias, aligerando la carga de los operarios y mejorando la eficiencia general del proceso.



04

**Conclusiones,  
3BD – Una manera de hacer Europa**

## Conclusiones

El funcionamiento global del sistema determina cómo la IA puede ser aplicada de manera efectiva para optimizar procesos industriales complejos. La combinación de monitorización en tiempo real, análisis predictivo, gestión proactiva de alertas y ajustes dinámicos, todo ello supervisado por operadores humanos, representa un enfoque holístico y altamente eficiente para la optimización de calderas. Este enfoque no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también establece un nuevo estándar en la gestión y automatización de sistemas industriales complejos.



## Conclusiones

La integración de inteligencia artificial en la gestión de calderas en Termosun promete una mejora significativa en el rendimiento a lo largo del tiempo. Esta tecnología no solo optimiza el tiempo en que la caldera opera en su régimen óptimo, sino que también aumenta la eficiencia general y la seguridad de las operaciones.

## Conclusiones

La integración de inteligencia artificial en la gestión de calderas en Termosun promete una mejora significativa en el rendimiento a lo largo del tiempo. Esta tecnología no solo optimiza el tiempo en que la caldera opera en su régimen óptimo, sino que también aumenta la eficiencia general y la seguridad de las operaciones.

## Conclusiones

El Modelo Vigilante del Presente siempre proporciona valores precisos debido a su naturaleza en tiempo real. El Modelo Validador, siendo difícil de evaluar de forma aislada, se ha evaluado conjuntamente con el Modelo Recomendador, ya que forma parte integral de este último. Se ha determinado que en un 80% de las ocasiones, el Modelo Recomendador es igual o más eficaz que un humano realizando la misma tarea, mientras que en un 20% de los casos, su rendimiento es inferior. Por otro lado, el Modelo Vigilante del Futuro muestra un margen de error de 5 puntos porcentuales en la predicción de la calidad de la combustión.

## Conclusiones

Los modelos de IA desarrollados han demostrado ser herramientas valiosas en la mejora y mantenimiento de la eficiencia operativa de la caldera. La capacidad de monitorear y responder en tiempo real (Modelo Vigilante del Presente) asegura una gestión continua y eficiente. La predicción de problemas futuros (Modelo Vigilante del Futuro) y la capacidad de validar y recomendar correcciones de forma autónoma (Modelos Validador y Recomendador) resaltan el potencial de la IA para optimizar los procesos industriales, especialmente en entornos complejos como el de la gestión de calderas.

## Conclusiones

Con estos elementos, la introducción de la IA en la gestión de calderas de Termosun promete no solo mantener la eficiencia operativa, sino también marcar un hito en la gestión avanzada de sistemas complejos. Este enfoque integral hacia la optimización, que combina el control constante, la capacidad de anticipación y la asesoría automatizada, no solo mejora el rendimiento de la caldera a lo largo del tiempo, sino que también eleva el estándar de rendimiento en toda la industria.



05

**Documentación,**

## Solicite acceso a documentación específica

Para solicitar más información del proyecto,

Por favor, rellene el siguiente formulario:

**[Contacta con Termosun Energías](#)**



**!Una manera de hacer Europa!**



---

**TERMOSUN,**  
soluciones, experiencia y calidad.

---



**TERMOSUN ENERGÍAS S.L.**

Distribuidor exclusivo HERZ y BINDER

+34 938 618 144

Oficinas comerciales: Andalucía, Aragón, Castilla y León, Cataluña, Galicia, Madrid, Navarra, La Rioja, País Vasco y Portugal.

info@termosun.com • [www.termosun.com](http://www.termosun.com)