

## Dr. Farid Chejne

Universidad Nacional Sede Medellín.  
Profesor Investigador

Universidad Nacional, Medellín Campus.  
Associate Research Professor

### **La energía como motor de desarrollo en empresas competitivas – Aplicación de conceptos en la agroindustria en la Palma de Aceite**

Energy as a Driver for Development in Competitive Enterprises – Application Of Agroindustry Concepts in Oil Palm



Colombia

22 al 25 de septiembre de 2015



# **LA ENERGÍA COMO MOTOR DE DESARROLLO EN EMPRESAS COMPETITIVAS**

APLICACIÓN DE CONCEPTOS EN LA AGROINDUSTRIA DE LA PALMA  
DE ACEITE

**Farid Chejne J.**

Universidad Nacional de Colombia

**Juan Camilo Barrera**

**CENIPALMA**



# CONTENIDO

1. El problema de la energía.
  2. Aspectos generales de eficiencia energética y administración de la energía.
  3. Algunas tecnologías para lograr la eficiencia energética.
  4. Apuntes finales.
- Referencias selectas.

22 al 25 de septiembre de 2015

# El problema de la energía

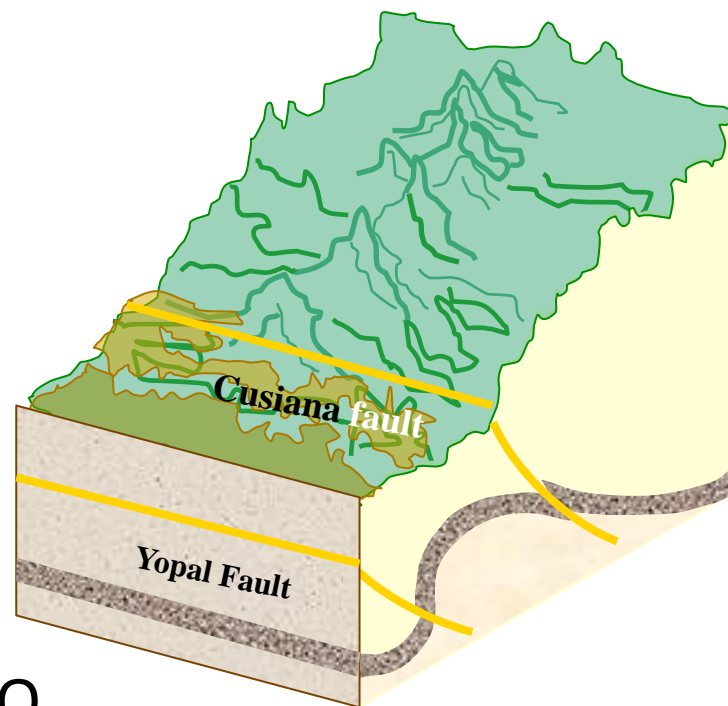


# Importancia de la energía en el desarrollo histórico de la humanidad

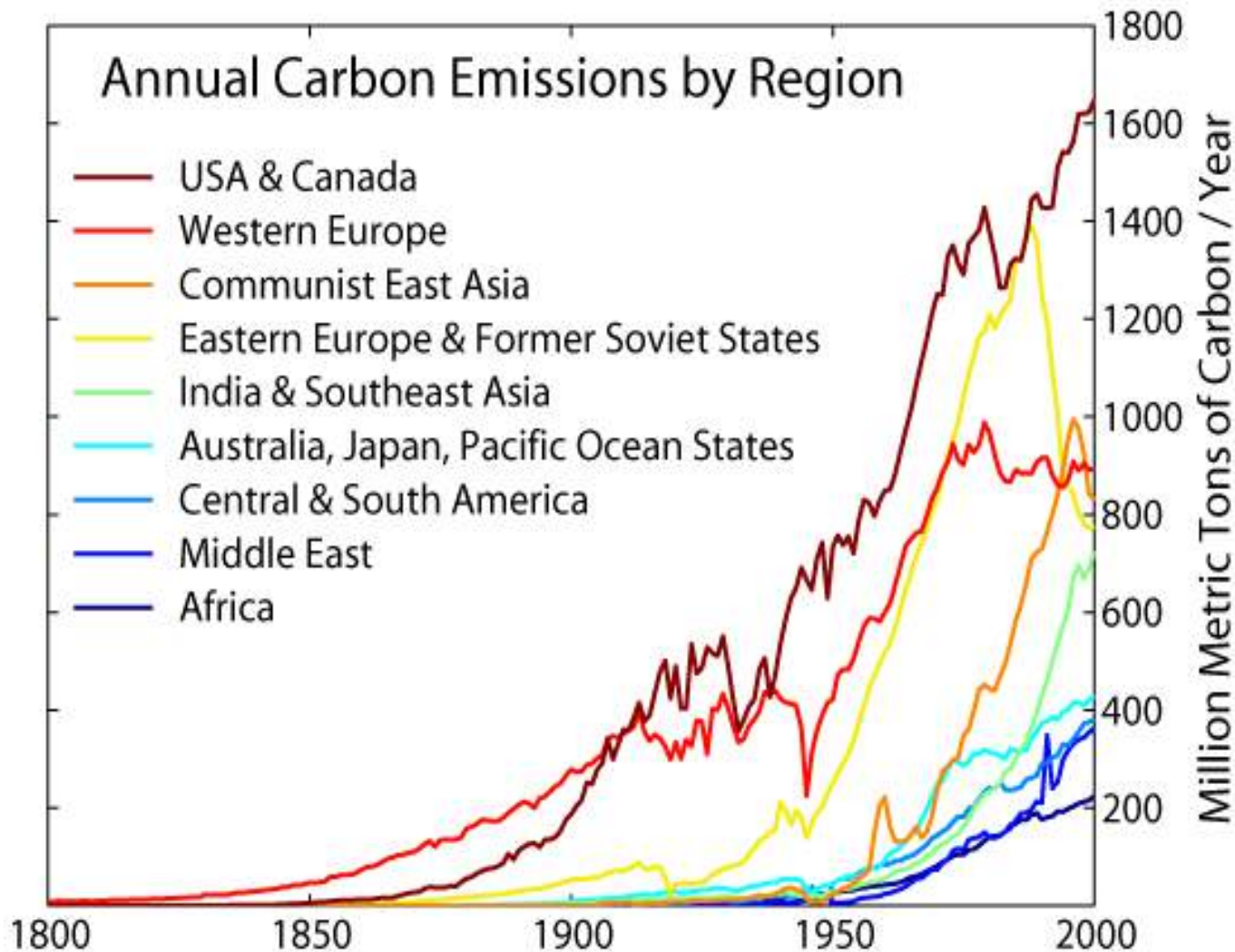
- Existe correlación directa entre la energía y el crecimiento económico y calidad de vida de una sociedad.
- Su acceso se constituye en un factor de equidad social.
- Elemento dinamizador de la geopolítica mundial.
- Su examen ha motivado importantes desarrollos científicos y tecnológicos.
- Referente ineludible cuando se plantea el tema del desarrollo sostenible.

# La energía se requiere para

- COMUNICACIÓN EFICAZ
- TRANSPORTE EFICIENTE
- AUMENTO DEL CONOCIMIENTO
- MAYOR CONFORT
- MAYOR CANTIDAD DE ALIMENTO
- MAYOR VIVIENDA



# Impacto ambiental



GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI <sub>i</sub> ) i		Símbolo químico	Masa molecular	Potencial Calentamiento Atmosférico (PCA <sub>i</sub> )
Dióxido de carbono	1	CO <sub>2</sub>	44	1
Metano	2	CH <sub>4</sub>	16	21
Óxido nitroso	3	N <sub>2</sub> O	30	310
Hidrofluorocarbonos (HFC)	4	HFC 23	70	11700
	5	HFC 125	120	2800
	6	HFC 134a	102	1300
	7	HFC 152a	66	140
Perfluorocarbonos (PFC)	8	CF <sub>4</sub>	88	6500
	9	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	138	9200
Hexafluoruro de azufre	10	SF <sub>6</sub>	146	23900

## Potenciales sustancias causantes del calentamiento atmosférico



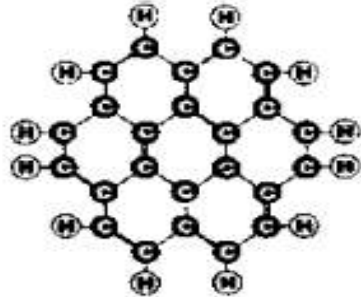
<b>F E [tCO<sub>2</sub>/TJ]</b>			
<b><u>Combustibles sólidos:</u></b>		<b><u>Combustibles líquidos:</u></b>	
Antracita	98.3	Crudo	
Carbón de coque	94.6	Fuel oil	73.3
Hulla	94.6	Diesel oil	77.4
Carbones sub-bituminosos	96.1	Gasolinas	74.1
Lignito	101.2	Querosenos (aviación)	69.3
Turba	106	Otros querosenos	71.5
<b><u>Combustibles gaseosos:</u></b>		GLP	71.9
Gas natural	56.1	GLN	63.1
Metano	55.1	Etano	63.1
Gas de refinería	66.7	Nafta	61.6
Gas de horno de coque	108/47	Asfaltos	73.3
Gas de horno alto	24.2	Lubricantes	80.7
		Coque de petróleo	80.7
		Materia prima refinería	100.8
		Orimulsión	73.3
			80.7

Tomado de: IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

## Factores de emisión de CO<sub>2</sub> equivalente por tipo de combustible

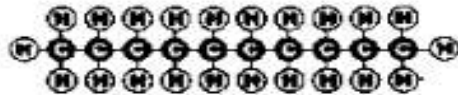
# ESTRUCTURA COMBUSTIBLES FÓSILES

Coal



Corones H : C = 0.5 : 1

Mineral oil



Decane H : C = 2 : 1



Propane (LPG) H : C = 4 : 1.5

Natural gas



Methane H : C = 4 : 1


Hydrogen




H : C = ∞

$$\uparrow \frac{H}{C} \Rightarrow \downarrow CO_2$$

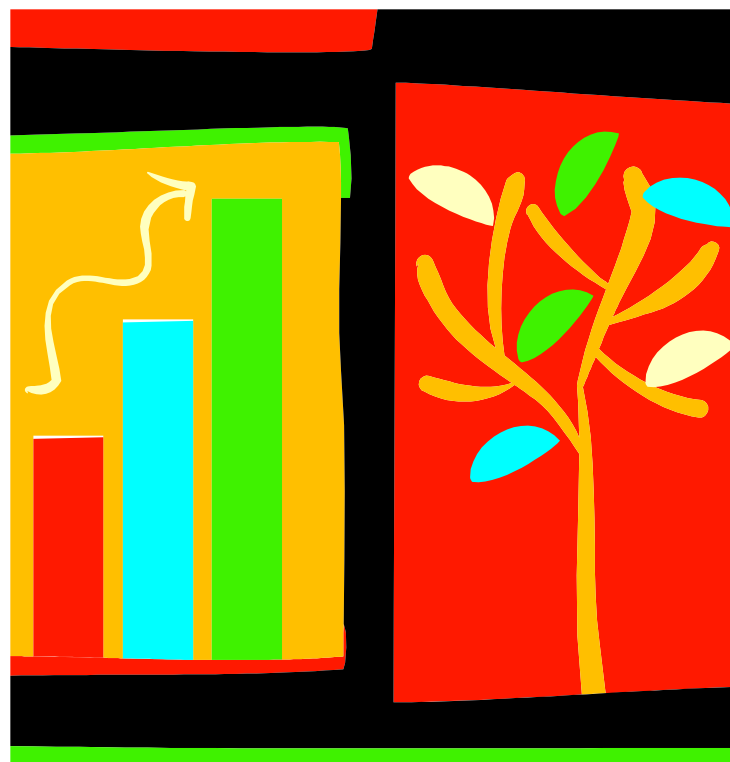
The atomic hydrogen/carbon ratio. Source



# Aspectos generales de eficiencia energética y administración de la energía.

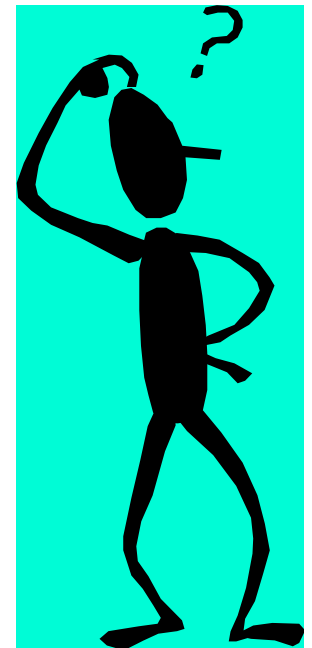


El uso eficiente de la energía permite Incrementar la competitividad en las empresas.



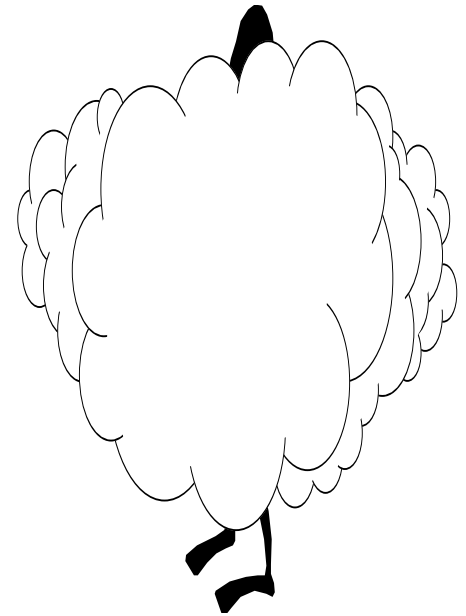
## ¿Qué es usar mal la energía?

- Permitir fugas de agua, aire, vapor, etc
- Mal mantenimiento de los equipos
- Tuberías sin aislar
- Mala operación de calderas, hornos, secaderos, etc
- Encender equipos no necesarios
- Botar agua y gases calientes
- Uso de tecnologías inadecuadas



# Problemas generados por el mal uso de la energía

- Destrucción del ambiente por contaminación de la atmósfera, la tierra y el agua.
- Agotamiento de los recursos.
- Altos costos de producción.
- Menor competitividad.



# Oportunidades de eficiencia energética en la industria



Recuperación de energía de desecho



Uso de sistemas de alta eficiencia

- Cambio energético
- Mejores tecnológicas
- Uso de energías alternativas



Evitar pérdidas de calor

- Optimización de proceso
- Nuevas tecnologías

## Definición de eficiencia

$$Eficiencia = \frac{Energía Necesaria}{Energía Aportada}$$

$$Eficiencia = 1 - \frac{Pérdidas}{Energía Aportada}$$



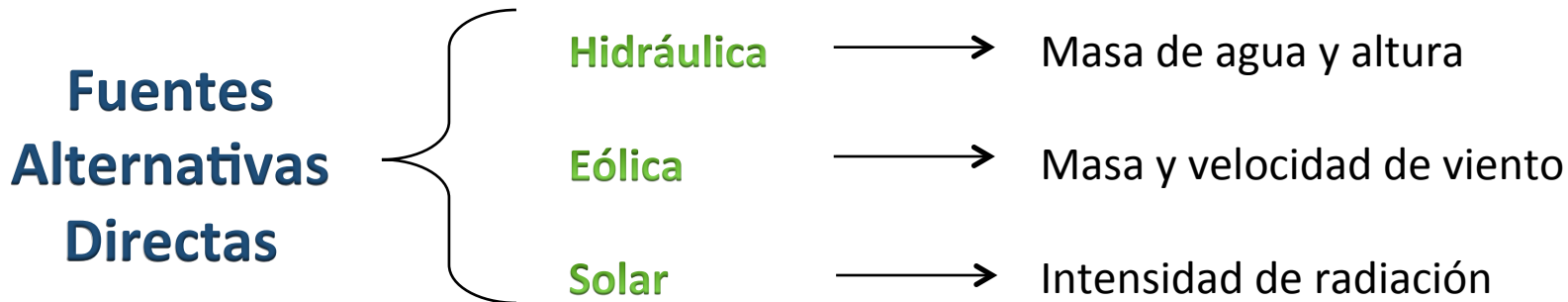
# Eficiencia en algunos procesos tecnológicos

Proceso	Eficiencia (%)	Quim. Term.	Term. Mec.	Mec. Elect.	Elect. Mec.	Quim. Elect.	Rad. Elect.
Generador eléctrico	98			●			
Motor eléctrico grande	93				●		
Acumulador químico	91					●	
Caldera de vapor	88	●					
Horno de gas	86	●					
Celda de combustible	60					●	
Turbina de vapor	47		●				
Planta termoeléctrica	40	●	●	●			

# Eficiencia en algunos procesos tecnológicos

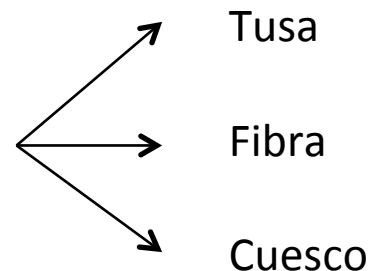
Proceso	Eficiencia (%)	Quim. Term.	Term. Mec.	Mec. Elect.	Elect. Mec.	Quim. Elect.	Rad. Elect.
Motor diésel	37	●	●	●			
Turbina a gas	35	●	●				
Motor CL a gasolina	26	●	●				
Lámpara fluorescente	20				●		
Celda solar	12						●
Locomotora a vapor	8	●	●		●		
Lámpara de filamento	4						

# Energías primarias



## Material orgánico

**Biomasa  
Palma de aceite**



## Fuentes convencionales

**Carbón**

**Petróleo crudo**

**Gas Natural**

Combustible fósil

# Aplicaciones en la agroindustria palmera

**Integración de sistemas de consumos con el mismo energético: vapor que se utiliza en un equipo, se recomienda reutilizar el vapor sobrante en otra parte.**

**Aprovechamiento de la energía solar para el secado y calentamiento de agua y otros.**

**Utilizar motores de alta eficiencia.**

**Preparación adecuada del combustible y utilizar la tecnología adecuada v.g. lecho fluidizado, peletización.**

**Implementar sistemas de administración de la ENERGÍA.**

22 al 25 de septiembre de 2015

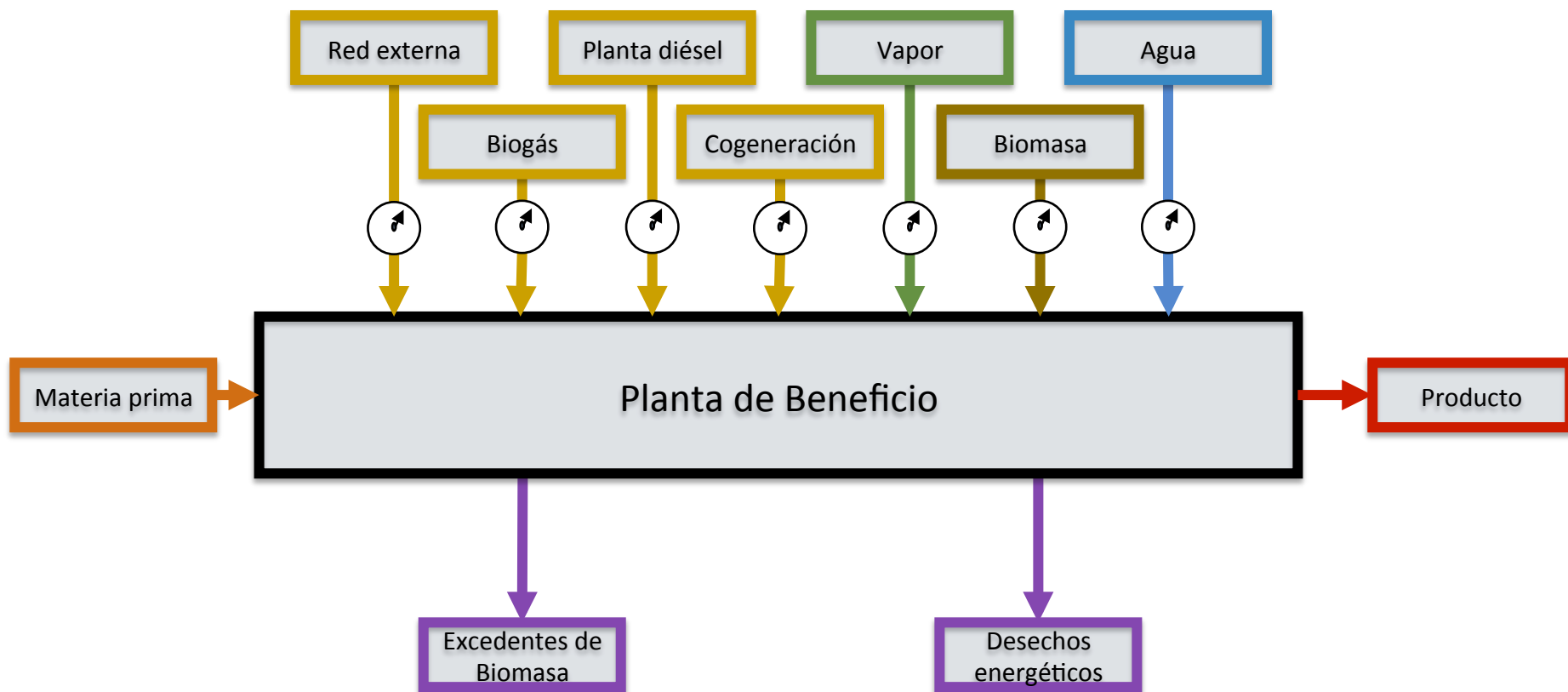
# Administración de la energía



## Concepto de administración de la energía

Son una serie de actividades para obtener, interpretar y reportar información sobre consumos de energía con el fin de medir y mantener el desempeño e identificar oportunidades de mejoramiento.

# Centro de costos de la energía





# Variables energéticas de seguimiento

## Proceso:

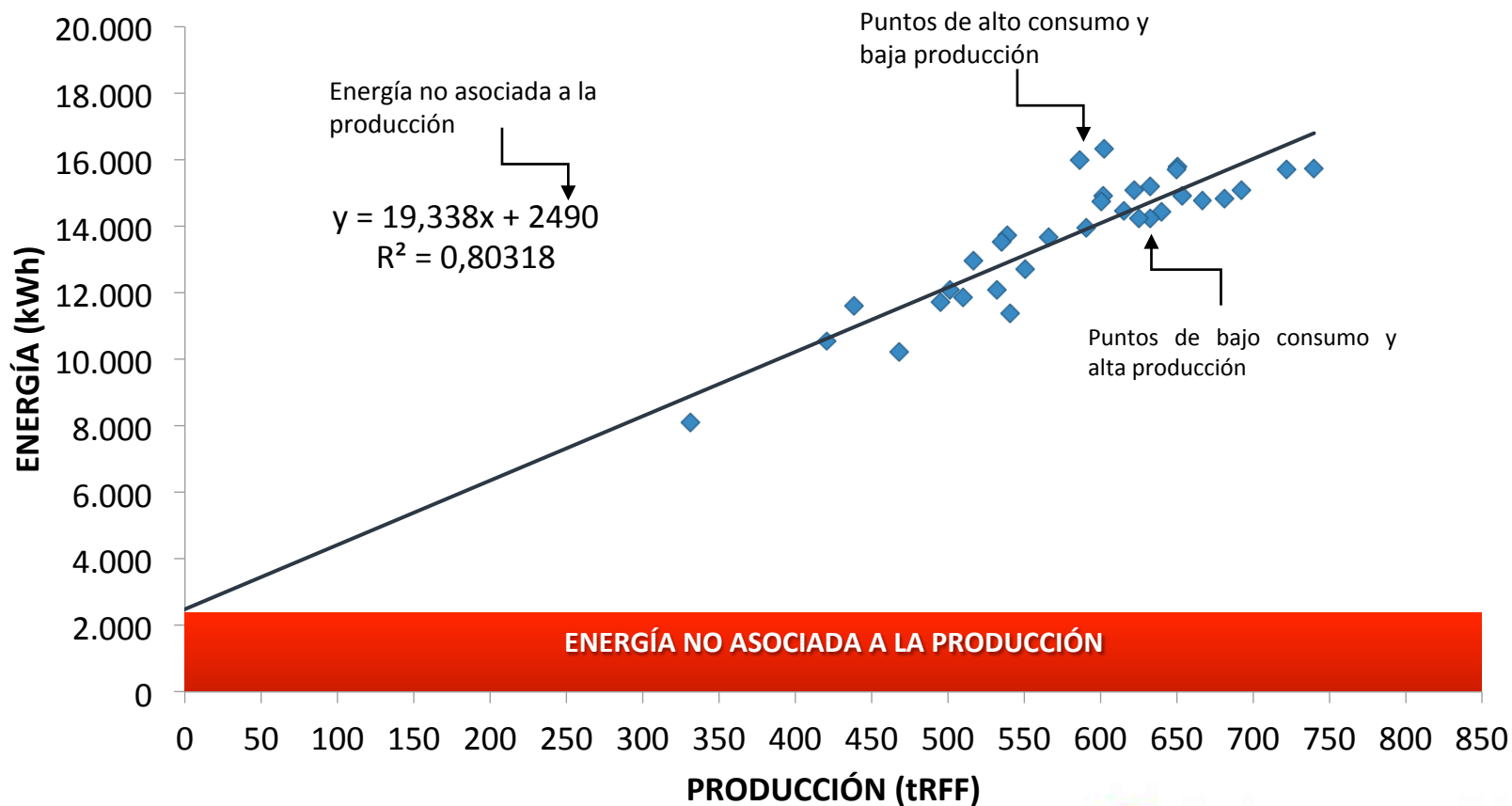
- Temperatura
- Presión
- Concentración
- Flujos de materia y de energía

## Planta de beneficio:

- Consumo específico (kWh/tRFF, kg Vapor/tRFF, m<sup>3</sup>/tRFF)
- Consumo energético (kWh/día, Kg Vapor/mes)
- Producción (tRFF, t Alm.)

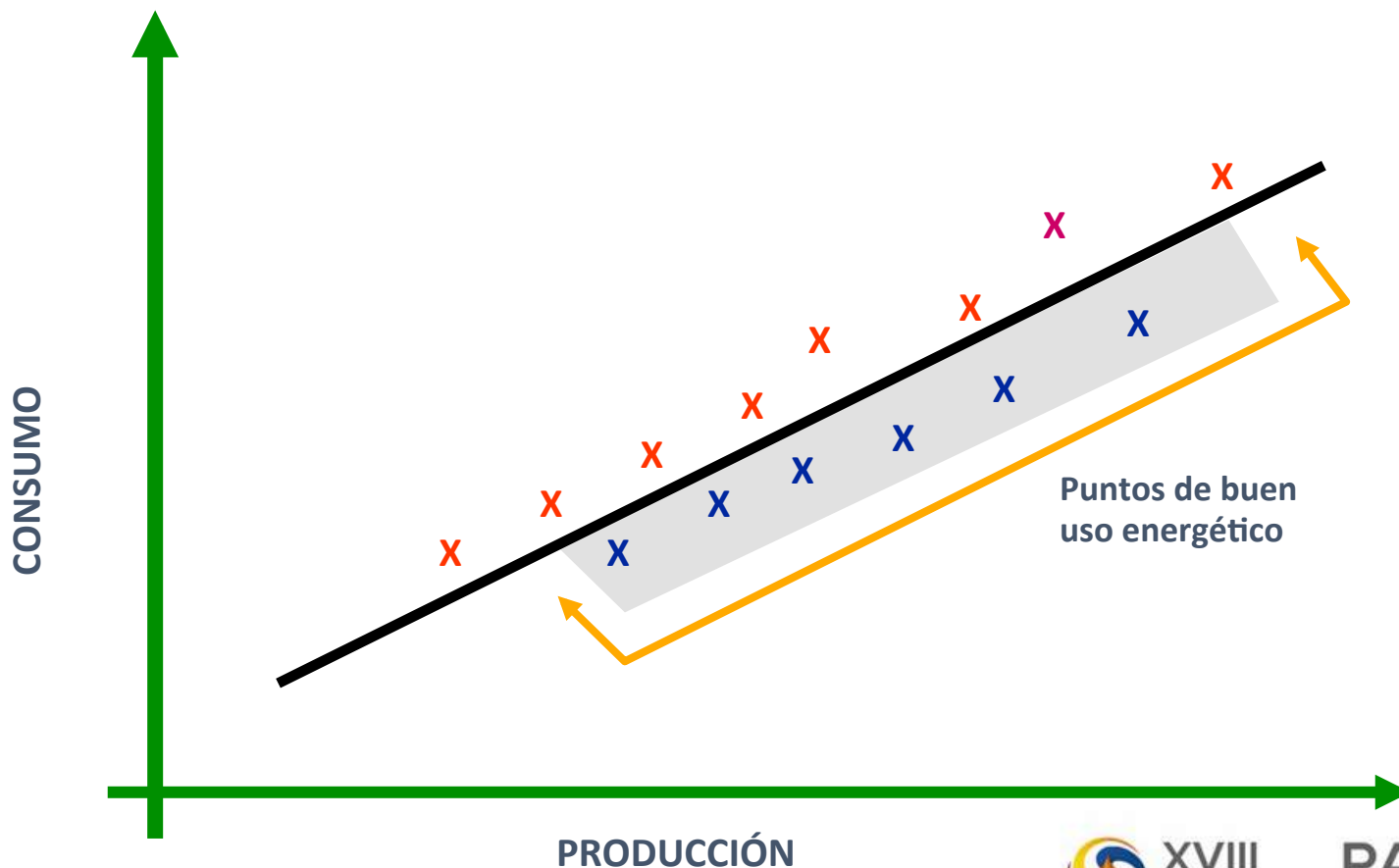


# Tendencia de consumo vs producción para planta de beneficio



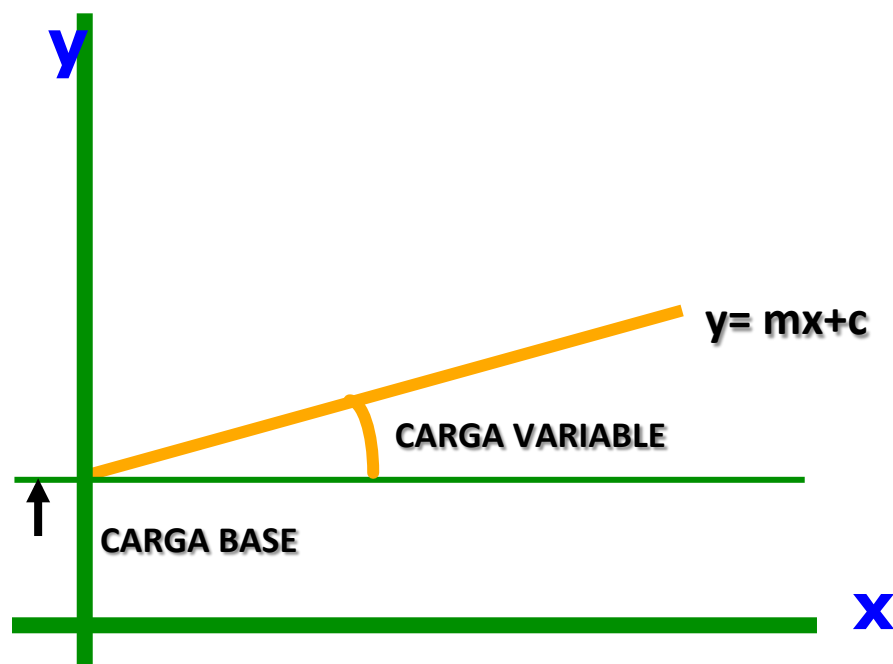
# Consumo vs Producción

## Análisis de regresión



## VARIABLES del grafico

- **Intercepto:** El consumo implica que aunque no hay producción, generalmente existe una carga base del sistema.
- **Pendiente:** La relación directa entre la producción y el consumo y equivale a la eficiencia del proceso
- **Dispersión:** El grado de variabilidad en el desempeño energético y depende de factores operacionales.

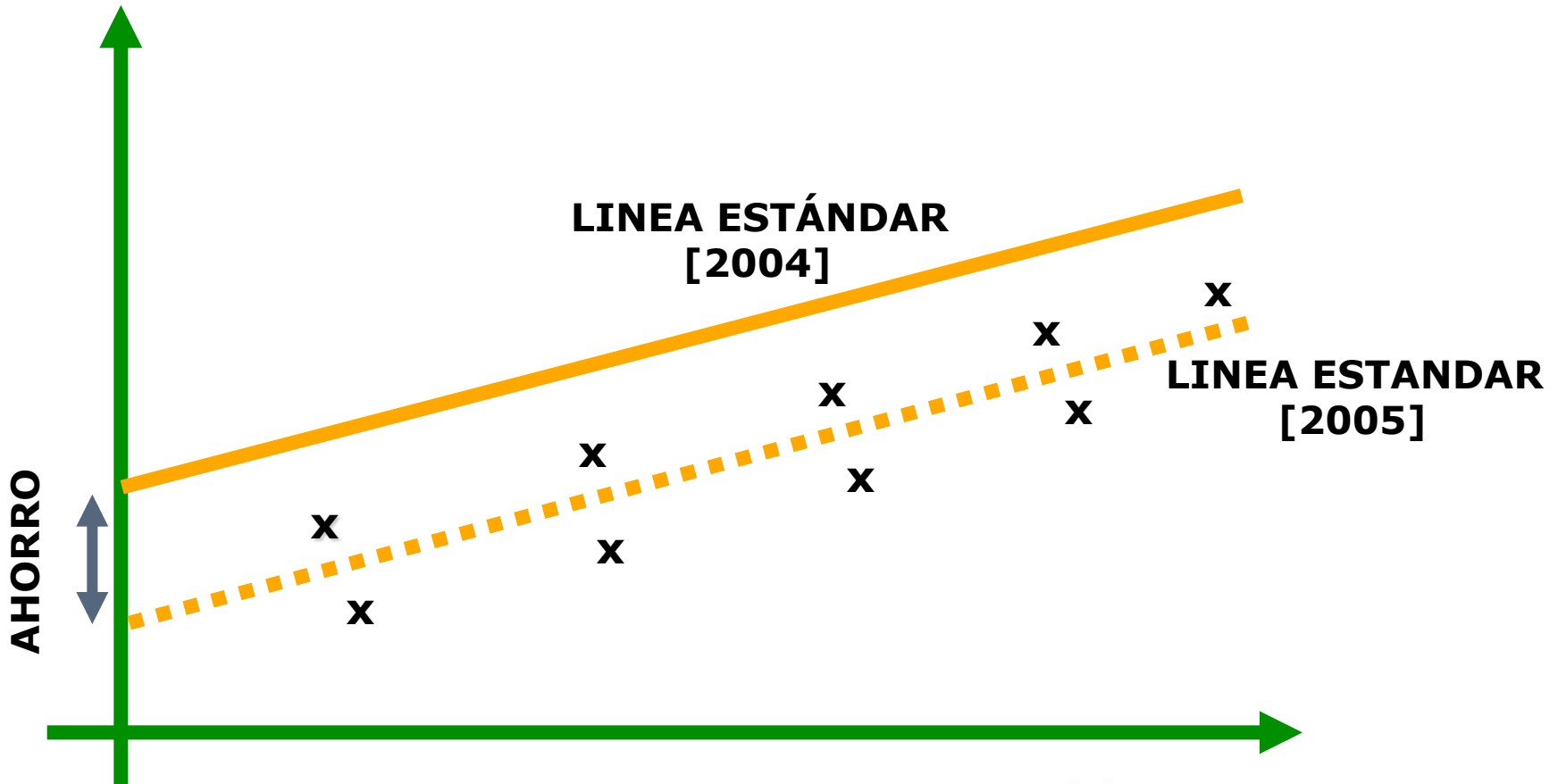


## Relación lineal entre consumo y producción

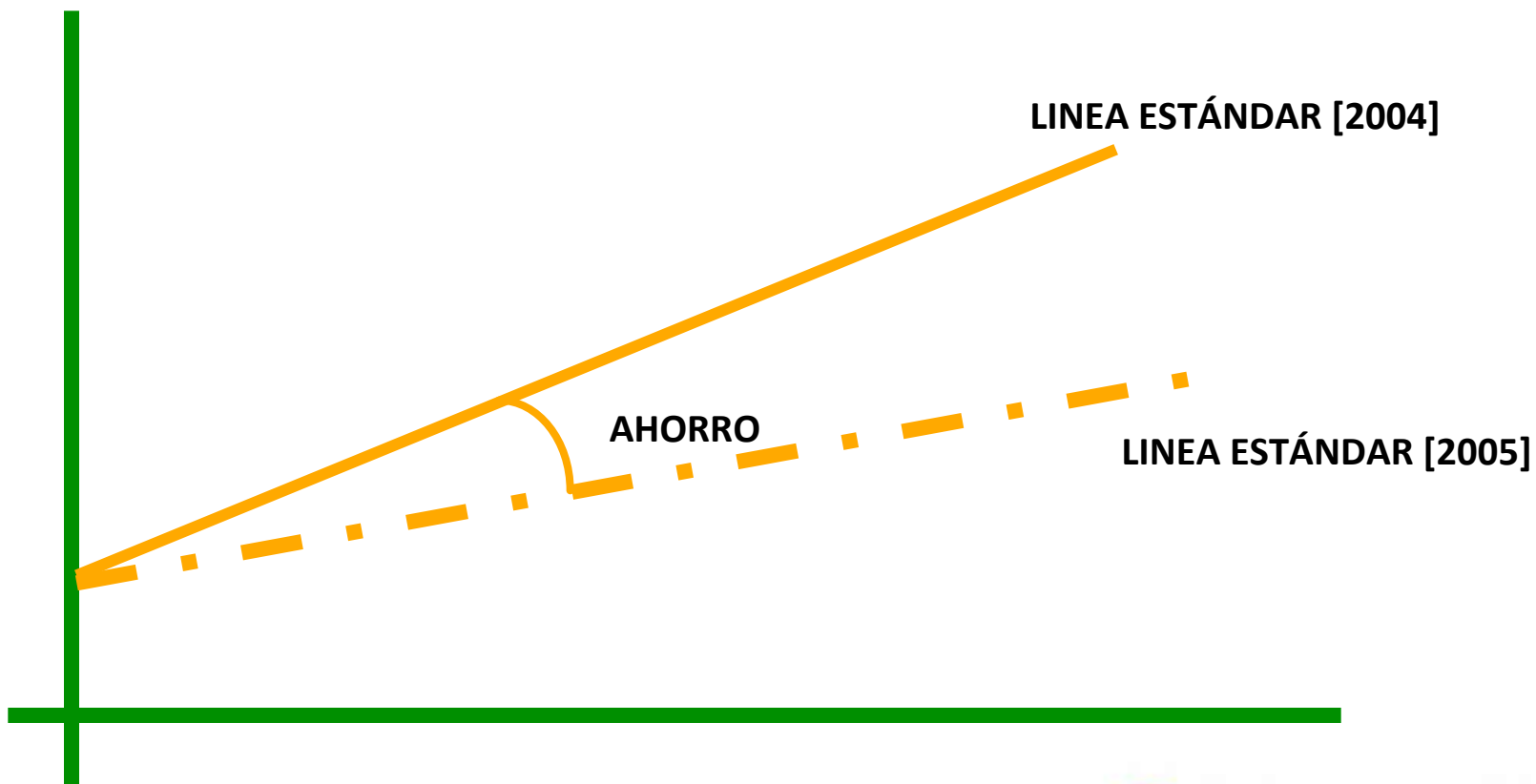
$$y = mx + c$$

CONSUMO (kWh) =  $m$  (kWh/ton) \* PRODUCCIÓN (ton) + CARGA BASE (kWh)

# Ejemplo de ahorro con carga base



# Ejemplo de ahorro con carga variable





## Establecimiento de objetivos de reducción energética

Objetivo calculado con base en un programa de ahorro de energía.

Benchmarking.

Datos Históricos:

- Objetivo basado en la curva de regresión de los puntos por debajo de curva promedio.

Política empresarial:

- Objetivo basado en un porcentaje aplicado a la carga base y a la variable.

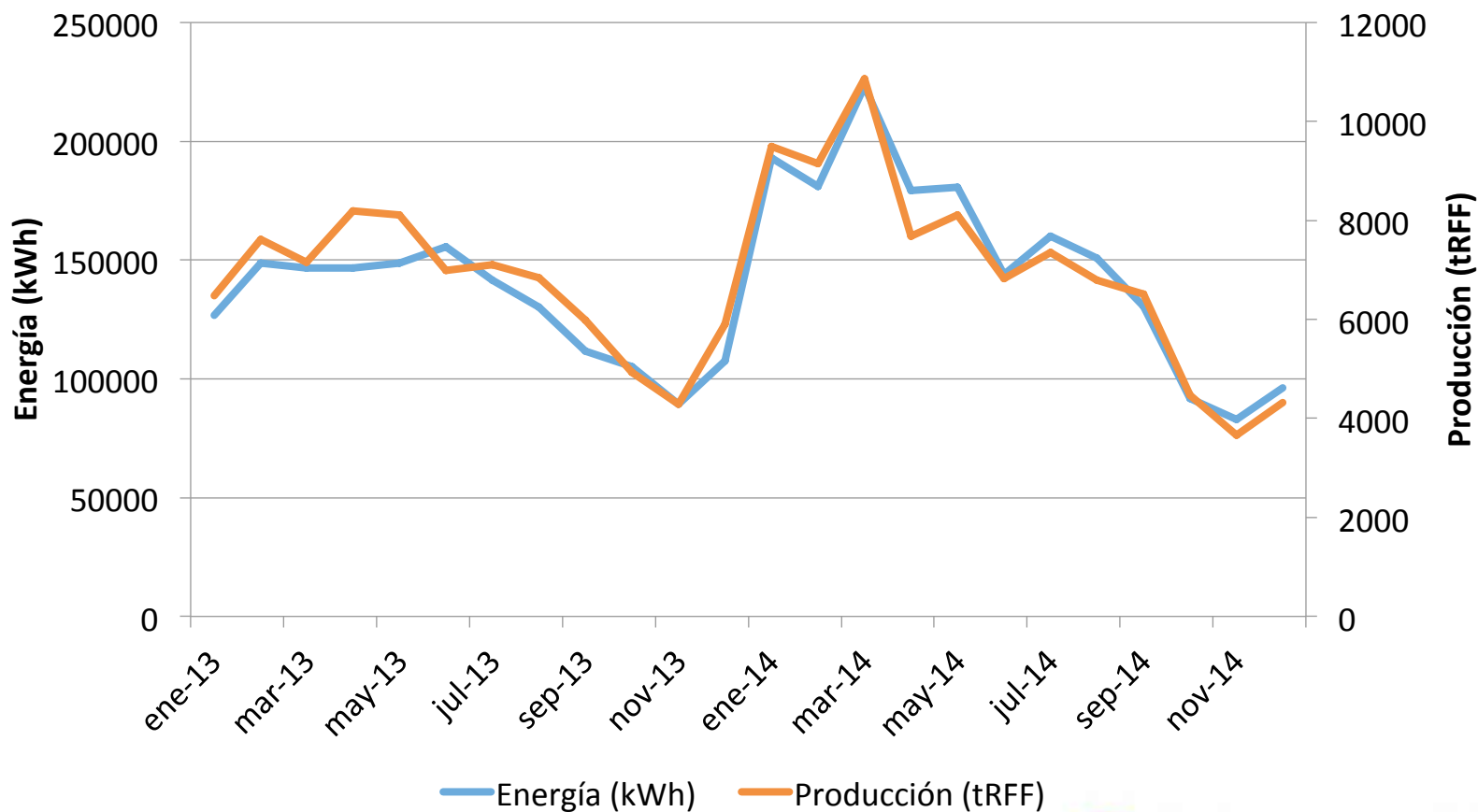


22 al 25 de septiembre de 2015

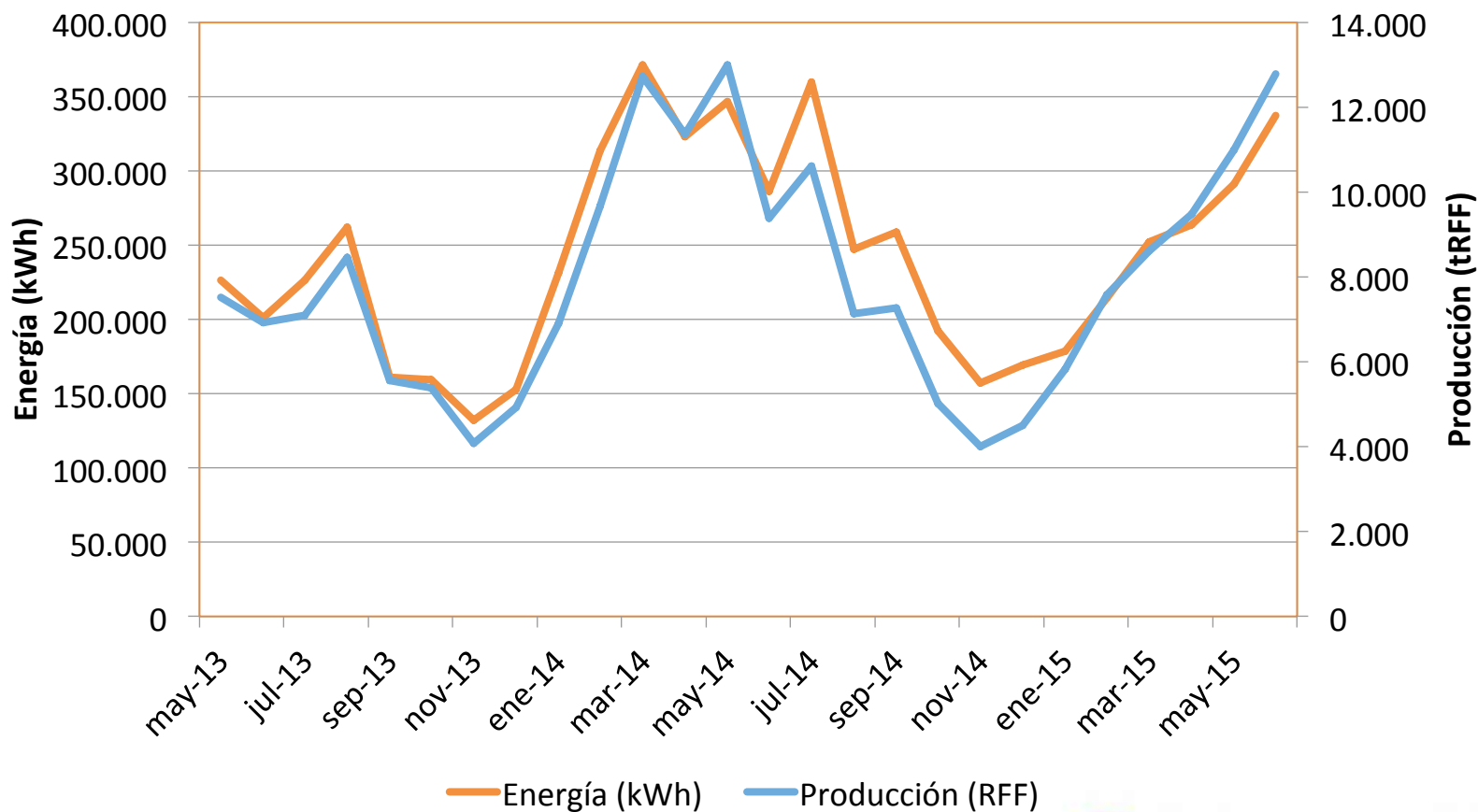
# Objetivos con base en datos históricos



# Tendencias de consumo y producción en PB

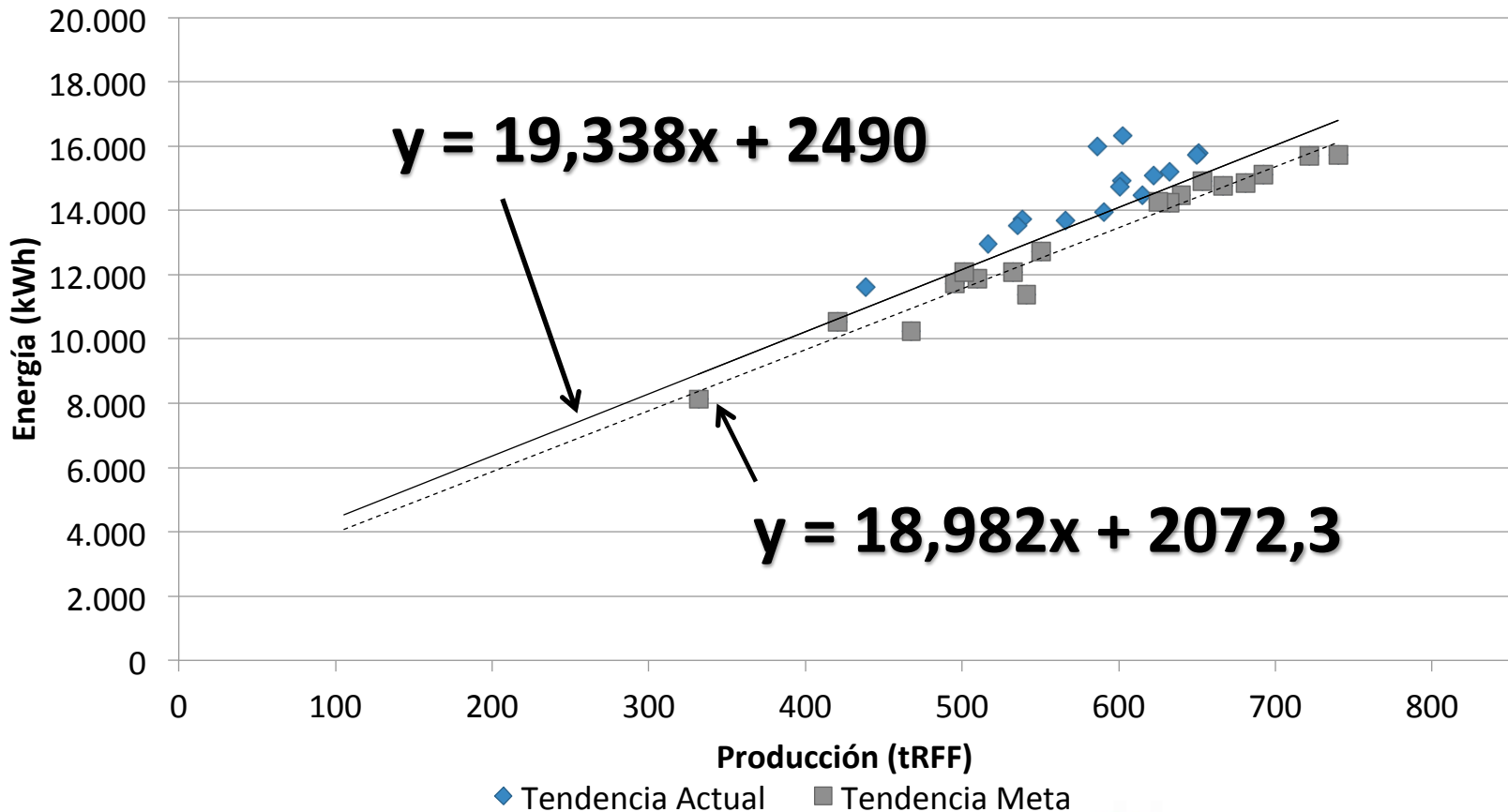


# Tendencias de consumo y producción en PB



— Energía (kWh) — Producción (RFF)

# Comportamiento consumo energía vs producción - PB





# Análisis Línea promedio y objetivo

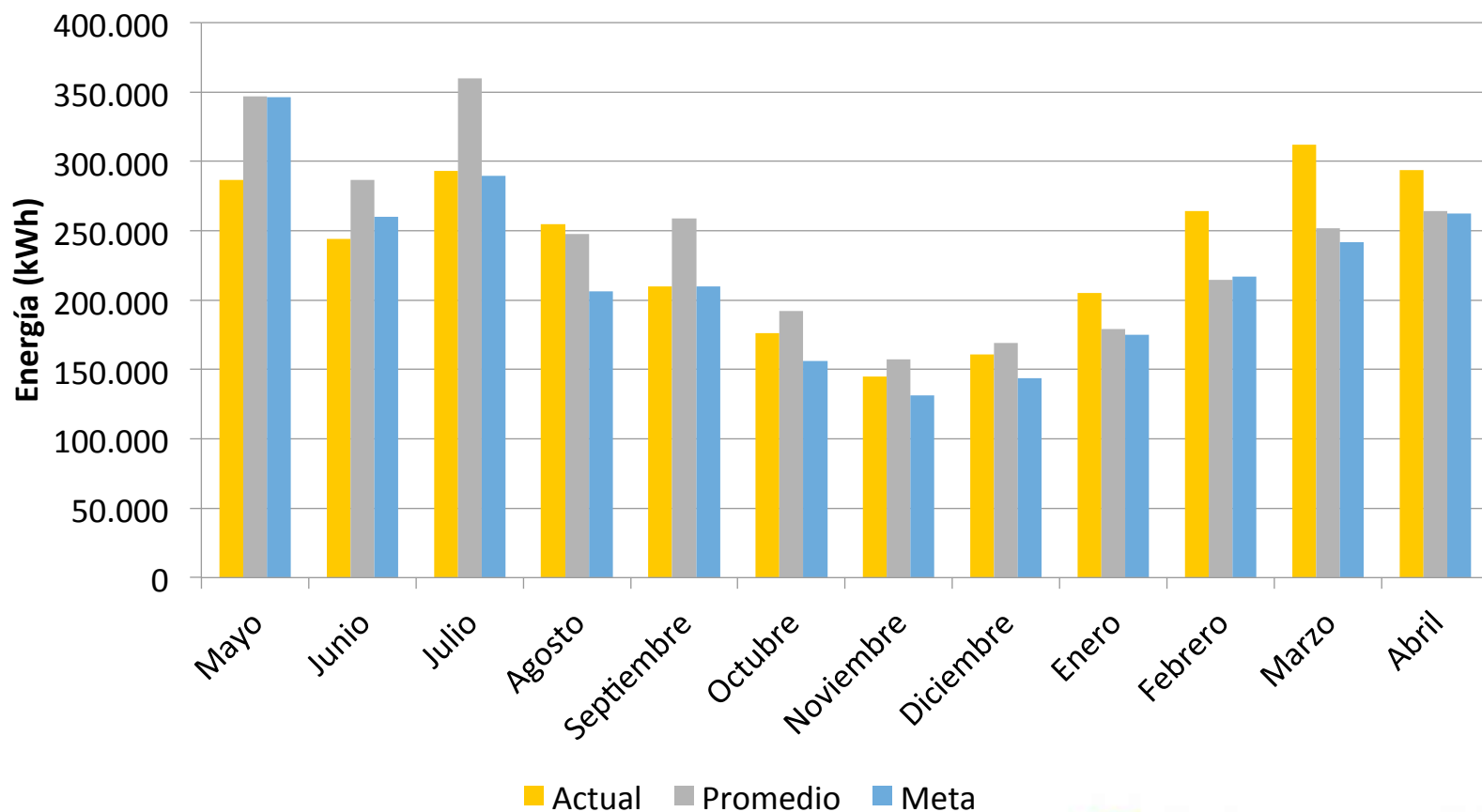
- Cambio en la pendiente: Rendimiento
- Cambio en el intercepto: Carga Base
- Desviación
- Coeficiente de correlación: Grado de variabilidad de los datos. Adaptación del modelo lineal a los datos correlacionados



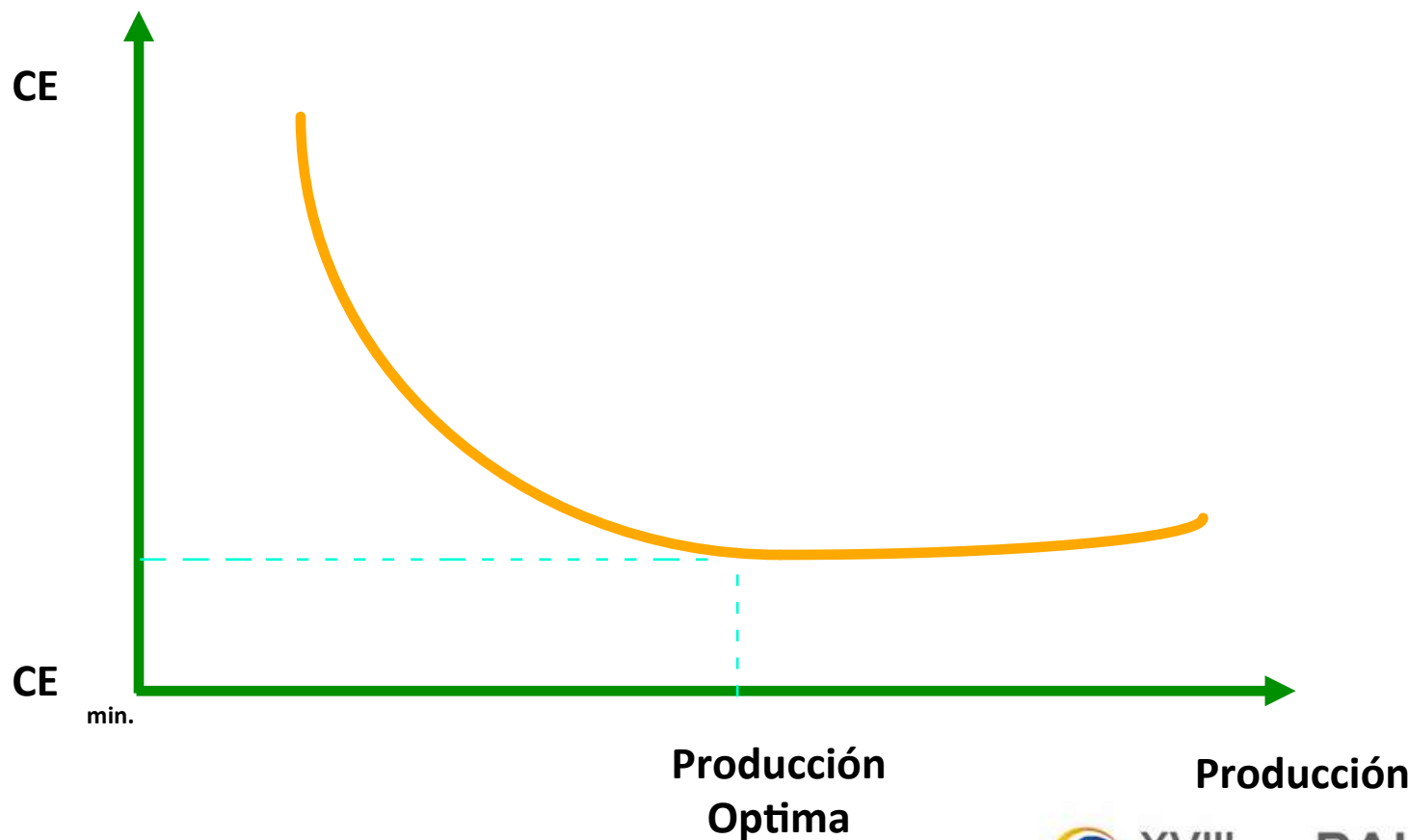
22 al 25 de septiembre de 2015

# Procedimientos para el análisis de datos y reportes

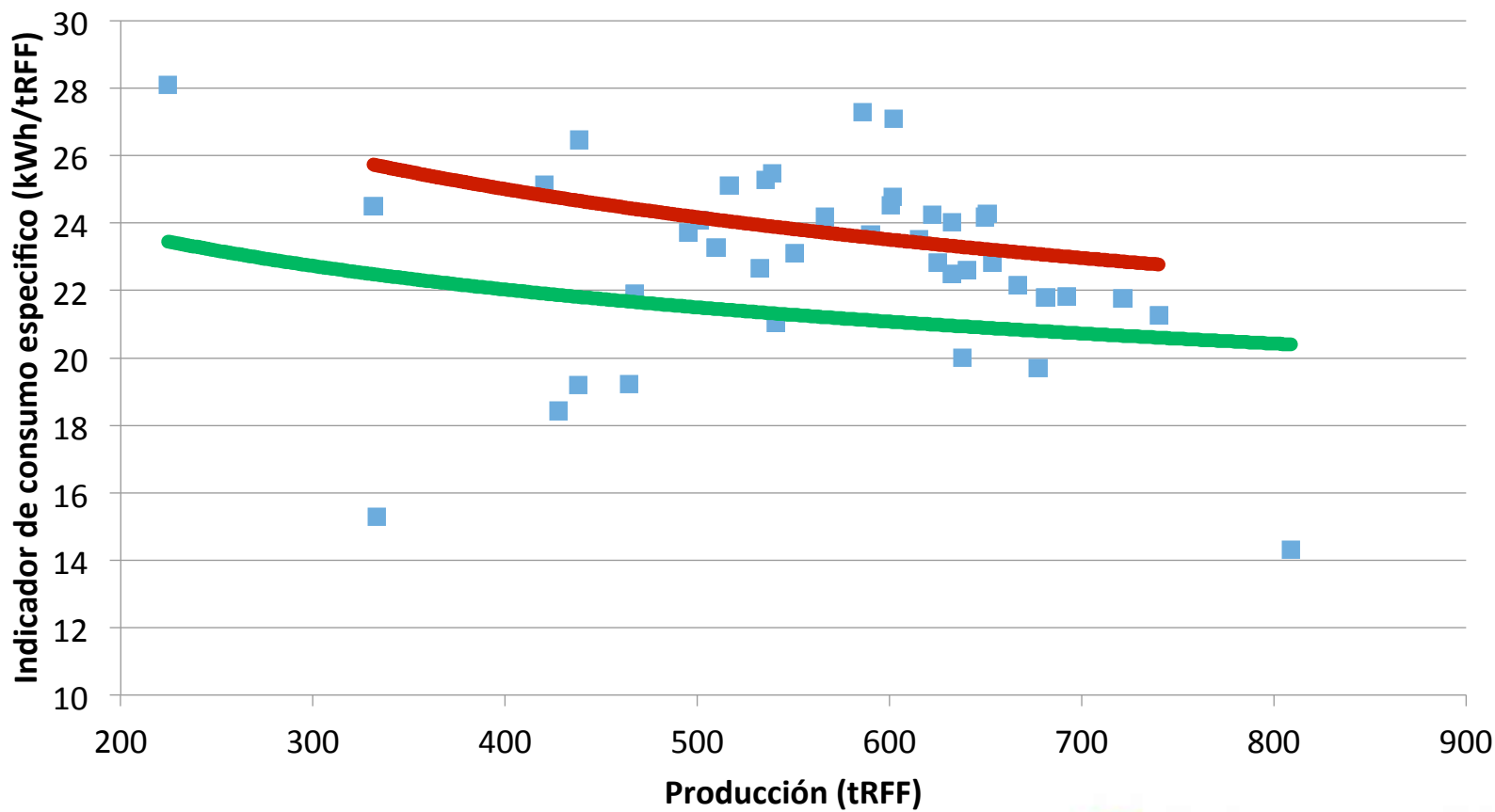
# Evolución del consumo energético por centro de costos de energía



# Comportamiento del consumo específico (CE) y la producción.



# Consumo específico y producción en PB







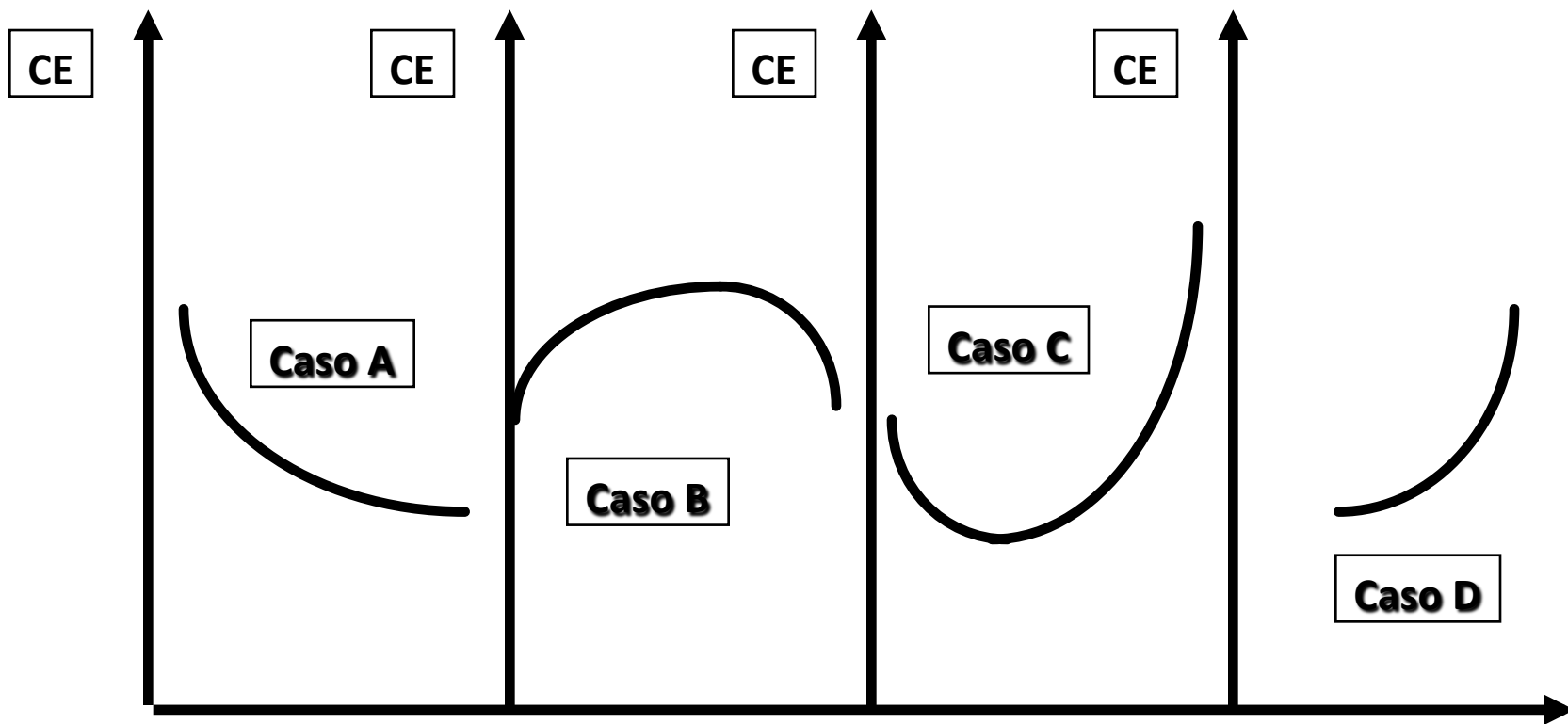
# Análisis de comportamiento

Es un indicativo de los tiempo ociosos de operación

Da una idea del sobredimensionamiento de la capacidad de los equipos

Da una idea del efecto de la relación de masa requerida para calentamiento a masa total

# Evolución del consumo específico



TIEMPO



# Consideraciones claves

Mantener los  
medidores  
calibrados

Tomar  
acciones.

Revisar los valores  
objetivo cuando  
sea necesario.

Considerar la  
implementación  
de nuevos CCE.

Mantener copias  
de seguridad de  
los archivos.

22 al 25 de septiembre de 2015

# Algunas tecnologías para lograr la eficiencia energética.

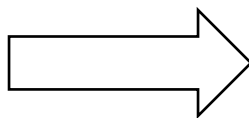
# PELETIZACIÓN

---



# Peletización

Pretratamiento para comprimir o compactar biomasas con el fin de obtener un combustible sólido con mayor valor agregado que la materias primas de origen.





## Beneficios

### Producto de ALTO VALOR AGREGADO debido

- Al bajo contenido de humedad, con lo cual se reduce la biodegradación,
- A la mejor densidad energética,
- A la facilidad de almacenamiento y transporte.

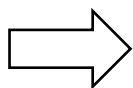
### Para los procesos de conversión termoquímica se logra:

- Se garantiza la estabilidad de la tecnología,
- Se asegura una alimentación homogénea.

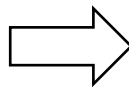
# Proceso



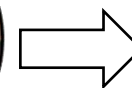
**Transporte y almacenamiento**



**Secado**



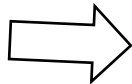
**Molienda**



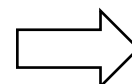
**Peletizado**



**Cribado**



**Almacenamiento y empaque**

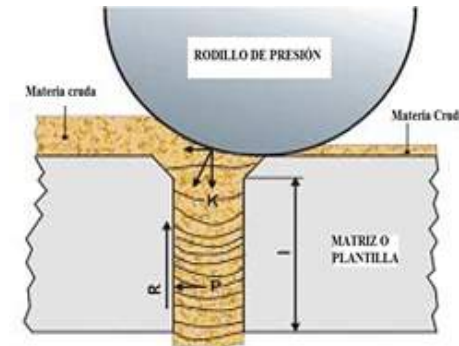
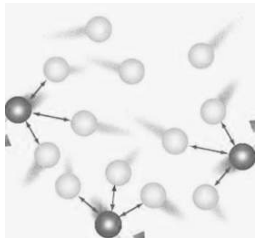


**Distribución**



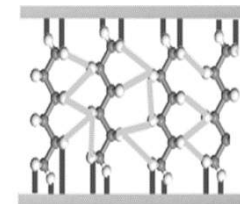
# Monitoreo

- Fuerzas de atracción entre las partículas sólidas
- Fuerzas interfaciales y capilares
- Fuerzas de adhesión y cohesión
- Puentes sólidos (Aglutinante)
- Enclavamiento mecánico



Compresión

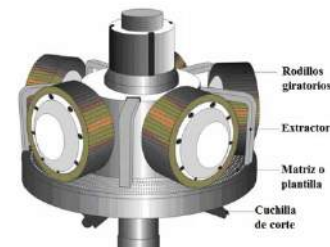
Fricción



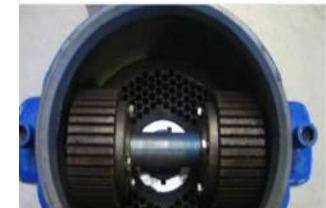
Masa compacta  
(reorganización de partículas)

# Equipos para la peletización

- Tipo Matriz plana horizontal

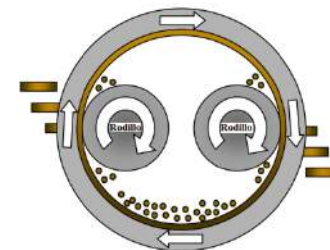


a. Esquema de Matriz plana horizontal fija

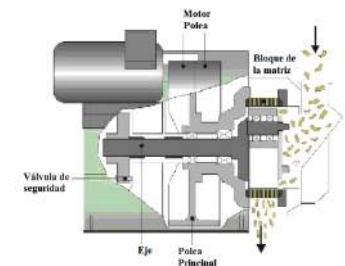


b. Vista real de peletizadora de matriz plana horizontal fija

- Matriz plana vertical rotativa



a. Esquema de Matriz rotativa vertical



b. Peletizadora de matriz rotativa vertical

22 al 25 de septiembre de 2015

# Tecnología de combustión en lecho fluidizado

# Principales causas de ineficiencias en calderas (A. Amel: proyecto INCOMBUSTION)

## Producción de inquemados

- Alto contenido de carbono en cenizas flotantes y escoria (27%-60% y 20%-30%)

## Altos niveles de aire en exceso

- Mala distribución de aire dentro de caldera y a través del lecho
- Inadecuado control del proceso

## Bajo factor de utilización

- Procesos secuenciales
- Sobredimensionamiento
- Repotenciación inadecuada

## Altas temperaturas de gases de combustión

- Mantenimiento en la limpieza de tubos

## Altas emisiones

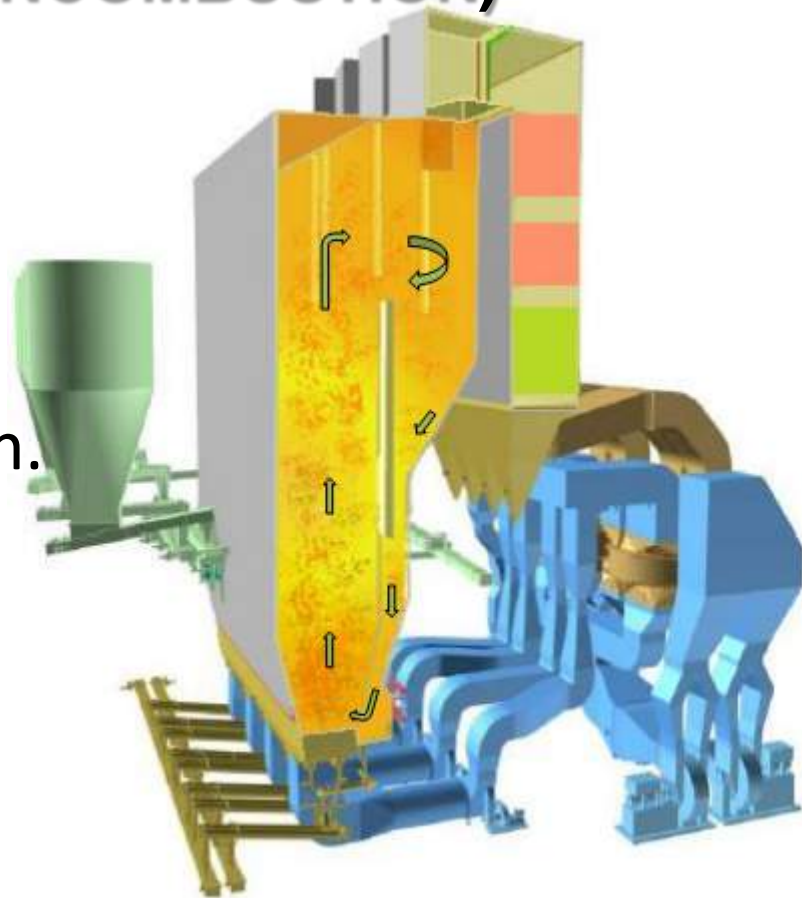
- Altos niveles de CO
- Inadecuado control en el tamaño de partícula de salida

El potencial de ahorro por sustitución de calderas convencionales mayores a 1000 BHP por calderas de lecho fluidizado (CLF) , y para calderas inferiores a 1000 BHP un programa de buenas practicas **operacionales\***.

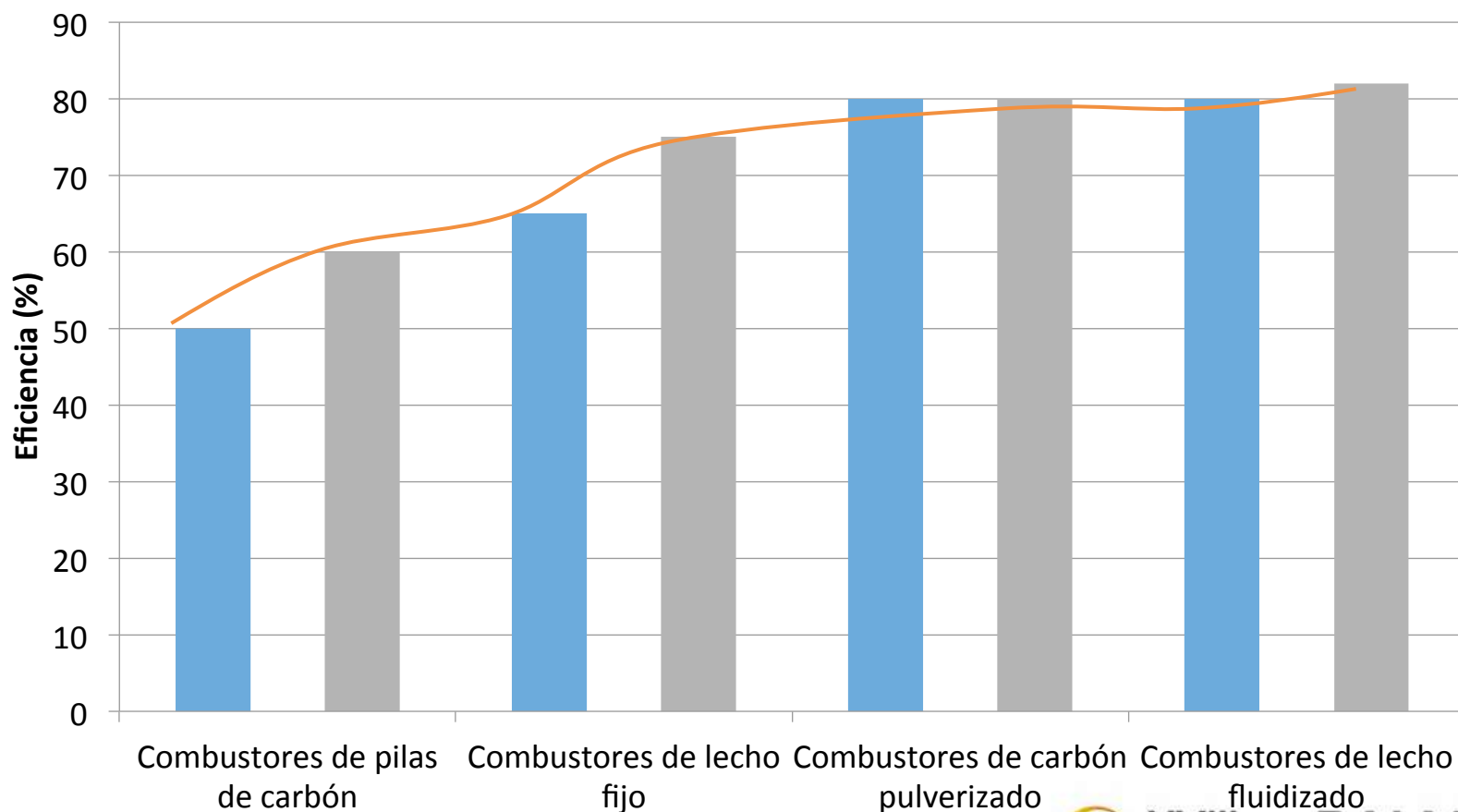


## Características de la tecnología CLF (A. Amel: proyecto INCOMBUSTION)

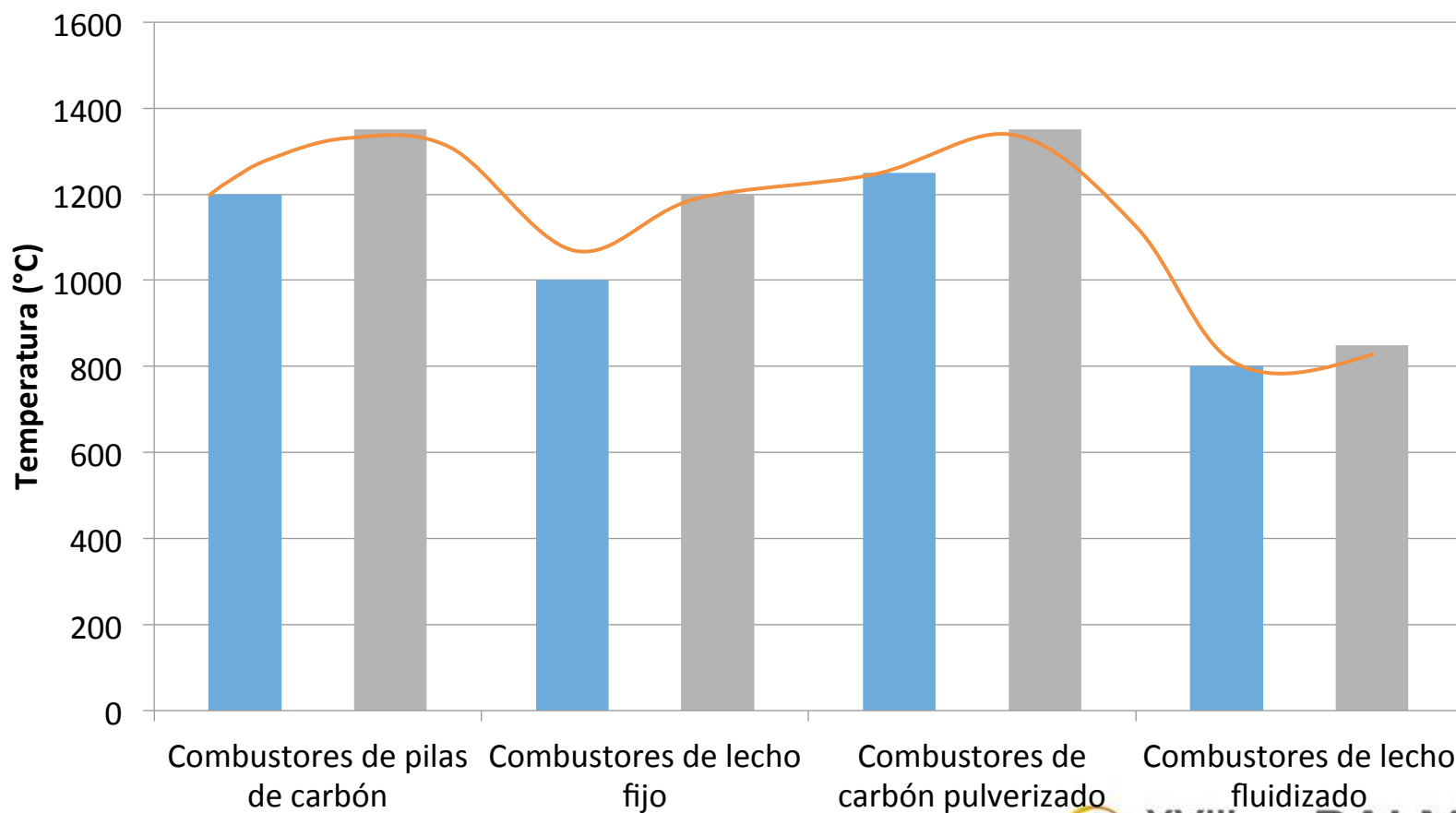
- Alta eficiencia.
- Bajas emisiones de NOx.
- Captura “In Situ” de SOx.
- Bajas temperaturas de operación.
- Equipos compactos y de menor tamaños que las otras tecnologías.
- Menos generación de inquemados.



# Eficiencia de diferentes tecnologías (A. Amel: proyecto INCOMBUSTION)



# Temperatura de proceso de diferentes tecnologías (A. Amel: proyecto INCOMBUSTION)





# **Características de la tecnología CLF (A. Amel: proyecto INCOMBUSTION)**

**Alta eficiencia.**

**Bajas emisiones de  
NOx.**

**Captura “In Situ”  
de SOx.**

**Bajas temperaturas  
de operación.**

**Equipos compactos  
y de menor  
tamaños que las  
otras tecnologías.**

**Menos generación  
de inquemados.**





# Barreras

## (A. Amel: proyecto INCOMBUSTION)

---

Desconocimiento de las tecnologías, que no permite asimilarla, manejarla y mucho menos construirla.

---

Desconfianza por altos costos iniciales de inversión, que hacen olvidar el impacto ambiental de las calderas antiguas e ineficientes.

---

Falta de agentes dentro del sector manufacturero capaz de asumir el reto de estas tecnologías.

---

Inexistencias de incentivos a la eficiencia energética con reducción de impacto ambiental.

22 al 25 de septiembre de 2015

# Apuntes finales

Los recursos energéticos son fuentes de Generación de divisas y garantizan la autosuficiencia energética nacional.



El adecuado suministro de energía contribuya con la equidad social.



22 al 25 de septiembre de 2015

# Referencias selectas



# A proposed industrial-boiler efficiency program in Shanxi: potential CO<sub>2</sub>-mitigation, health benefits and associated costs

Jinghua Fanga, Guanghai Li., Kristin Aunan,  
Haakon Vennemo, Hans M. Seipc, Kenneth A. Oyeb,  
Janos M. Beer

aTaiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi, People's Republic of China

bDepartment of Chemical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Room 66-548,  
Cambridge, MA 02139-4307, USA

cCenter for International Climate and Environmental Research, Oslo, Norway

dCenter for Economic Analysis, Oslo, Norway  
2002

# Investing in efficient industrial boiler systems in China and Vietnam

Ming Yang and Robert K. Dixon

Energy Policy 40 (2012) 432–437



# Development and Applications of Clean Coal Fluidized Bed Technology

NURDIL ESKIN and ARIF HEPBASLI

*Energy Sources, Part A, 28:1085–1097, 2006*



22 al 25 de septiembre de 2015

<http://www.si3ea.gov.co/Eure/>