

*Posibilidades tecnológicas y viabilidad  
de la generación descentralizada de  
electricidad con biomasa*

ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA  
GENERACIÓN ELÉCTRICA CON BIOMASA EN  
ESPAÑA

Madrid, 12 de noviembre 2009

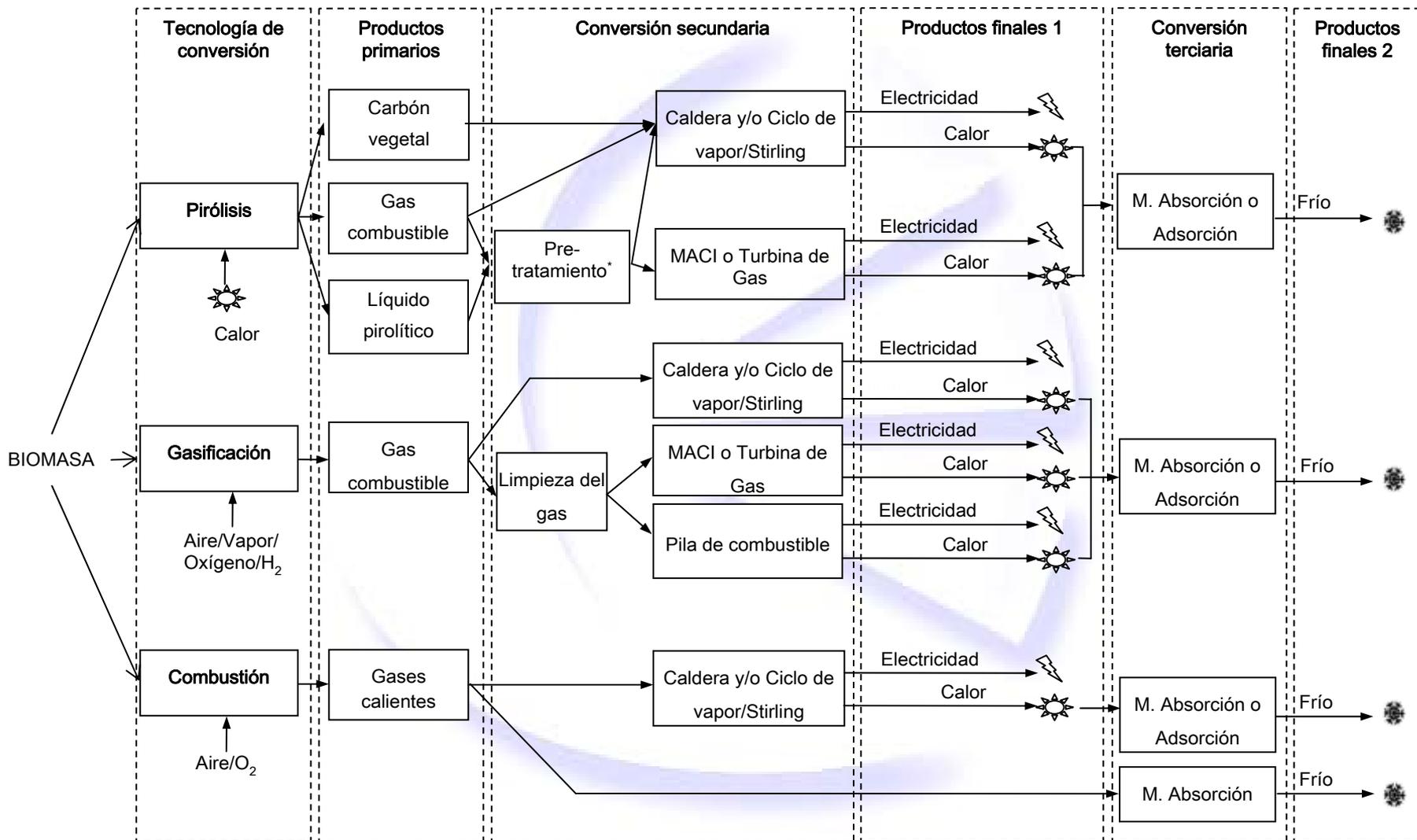
# Fundación CIRCE

- Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (Universidad de Zaragoza)
- ≈ 140 investigadores
- División de Recursos Naturales:
  - Evaluación de recursos – Cultivos energéticos
  - Estudios de impacto ambiental - ACV
  - Combustión de biomasa a pequeña escala
  - Co-combustión
  - Evaluaciones tecno-económicas
  - Producción combinada de agua y energía (Poligeneración)
  - Optimización de sistemas energéticos

# ÍNDICE

- Generación de electricidad:
  - Generación energética con biomasa
  - Tecnologías aplicables a generación distribuida
- Poligeneración
- Aplicación real: Viabilidad de sistema de trigeneración en Parque Tecnológico WALQA
  - Estudio Tecno-Económico
  - Estudio Medioambiental

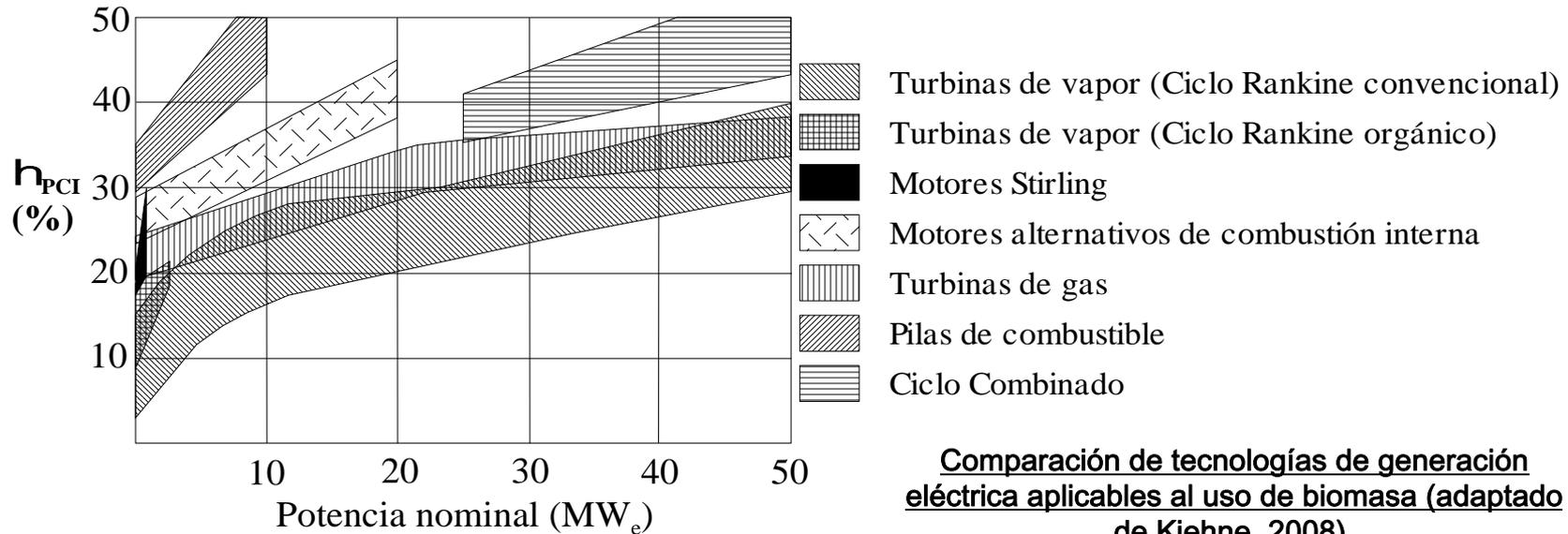
# SISTEMAS DE GENERACIÓN ENERGÉTICA CON BIOMASA



\* El pre-tratamiento al que se refiere la figura varía dependiendo de si se trata un combustible gaseosos o líquido.

# GENERACIÓN ELÉCTRICA DESCENTRALIZADA

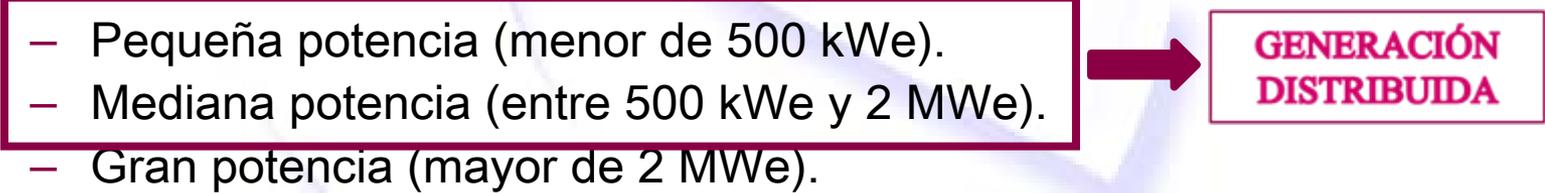
- Comparación de tecnologías de generación eléctrica:



- Generación eléctrica distribuida: generación a pequeña escala en áreas cercanas al consumidor final → Potencias inferiores a  $20 MW_e$ 
  - Uso eficiente de la energía
  - Reducción de costes de transporte y distribución
  - Reducción del impacto ambiental
  - Aumento de la fiabilidad en el suministro eléctrico
  - ...

# SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

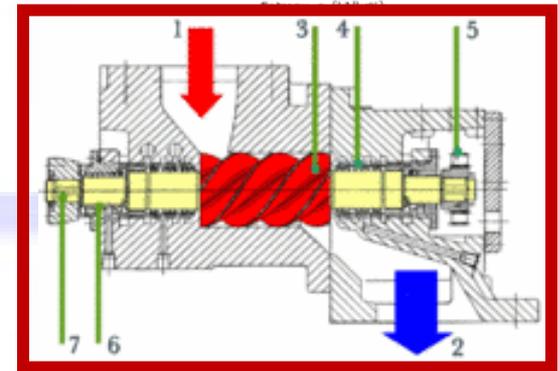
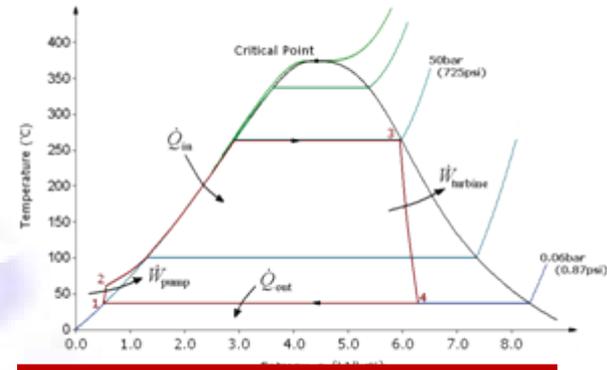
- Las de mayor penetración en el mercado:
  - Sistemas de combustión externa:
    - Ciclos de Vapor (Rankine convencional u Orgánico)
    - Motores Stirling
  - Sistemas de combustión interna (previa Gasificación/Pirólisis ):
    - Motores Alternativos de Combustión Interna
    - Turbinas de Gas
- Posible clasificación: Real Decreto 661/2007
  - Pequeña potencia (menor de 500 kWe).
  - Mediana potencia (entre 500 kWe y 2 MWe).
  - Gran potencia (mayor de 2 MWe).



**GENERACIÓN  
DISTRIBUIDA**

# CICLOS DE VAPOR

- CR Convencional → Aplicación entre 200 – 1.500 kW<sub>e</sub>: Sustitución de turbina de vapor por otro tipo de expansor (Motor de pistones o Motor de tipo tornillo):
  - Separación de sistema de combustión y generación de potencia
  - Buen comportamiento a carga parcial (30%)
  - Poco sensibles a variaciones en salida de expansor
  - Bajo mantenimiento



• ORC



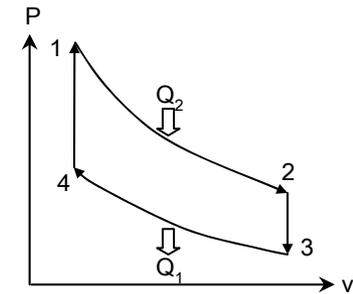
- Limitaciones/Potencial de aplicación a potencias inferiores (10 - 200 kW<sub>e</sub>) optimización:

ORC de 1 MW<sub>e</sub> (TURBODEN, Italia)

ORC de 30 kW<sub>e</sub> (Infinity, EE.UU.)

# MOTOR STIRLING

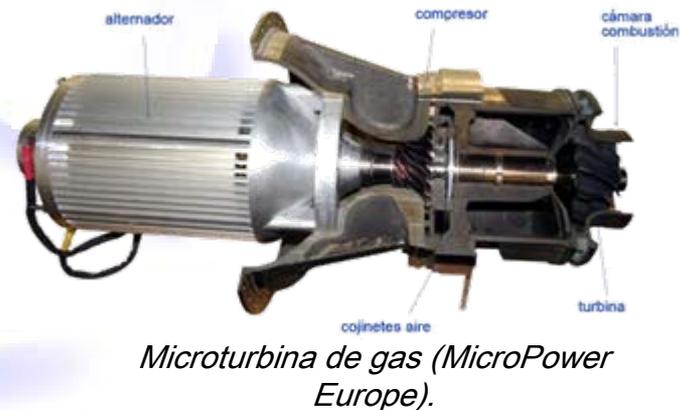
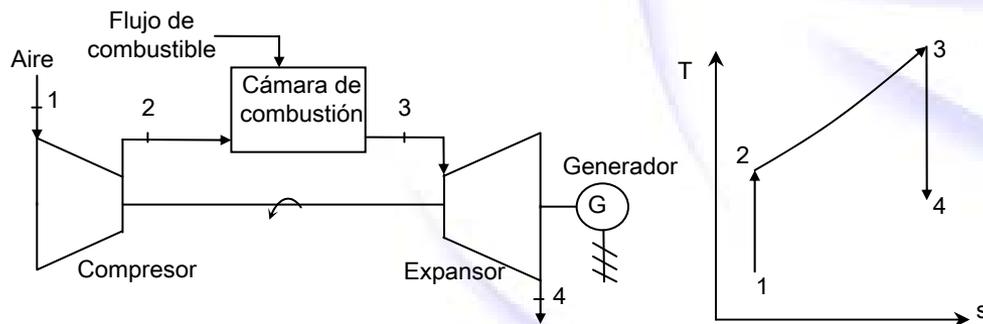
- **Ciclo Stirling:**
  - Ciclo cerrado en el que un gas de trabajo es alternativamente comprimido en un cilindro frío y expandido en un cilindro caliente.
  - Aporte de calor externo
- Aplicación a **generación distribuida** con biomasa : 1 – 1.500 kW<sub>e</sub>
  - **Combustión continua:** bajos niveles de emisiones, ruido y bajo consumo de combustible → Elevada eficiencia.
  - Buen funcionamiento a carga parcial.
  - Alto nivel de automatización.
  - Limitaciones/Potencial optimización:
    - Sólo para pequeñas escalas de producción eléctrica.
    - Disponibilidad tecnológica escasa.
    - Arranque lento.



*Motor Stirling adaptado a una caldera doméstica de pellets (KWB, Austria).*

# MOTORES DE COMBUSTIÓN EXTERNA

- MACI:  $30 \text{ kW}_e$  a  $5.000 \text{ MW}_e$
- Turbinas de Gas ( $500 \text{ kW}_e$  a  $250 \text{ MW}_e$  para turbinas convencionales) →  
Microturbinas:  $30$  a  $350 \text{ kW}_e$



- Limitaciones/Potencial optimización:  
Calidad del gas/líquido combustible

# COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS (orientativa)

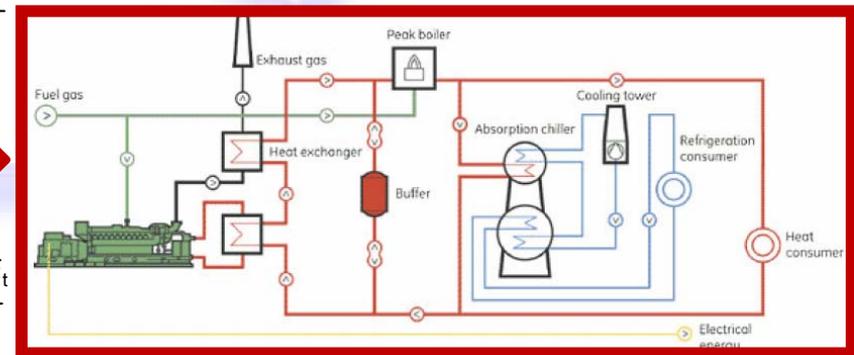
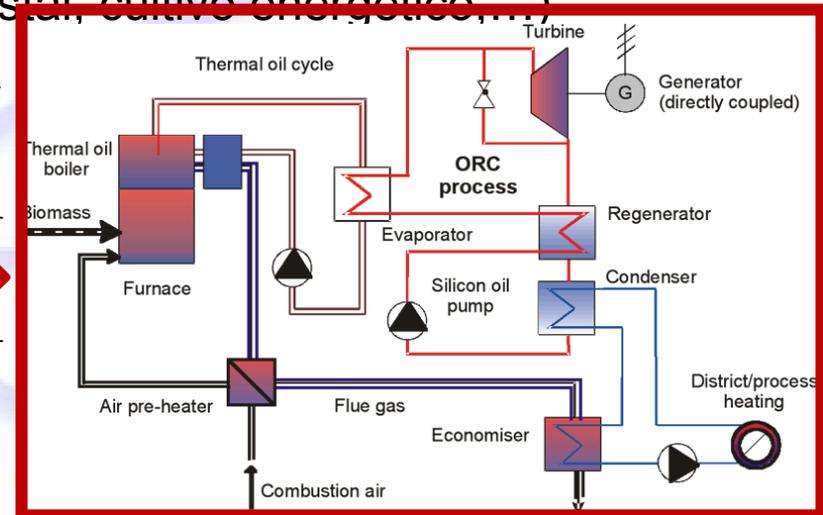
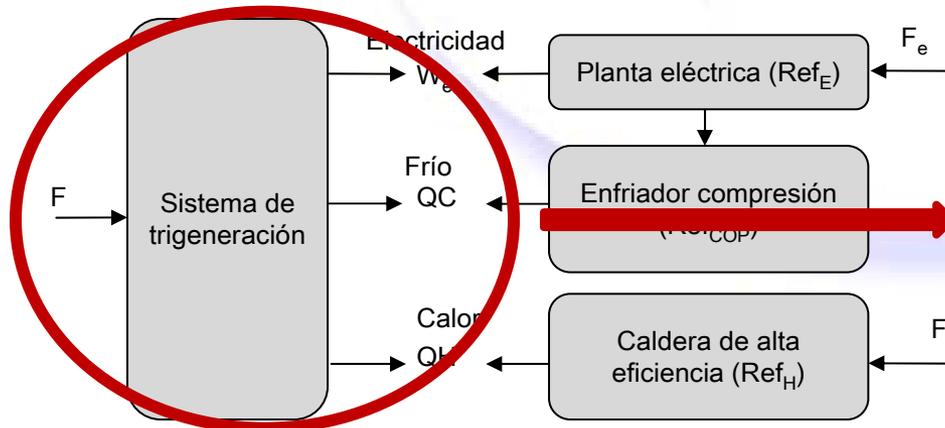
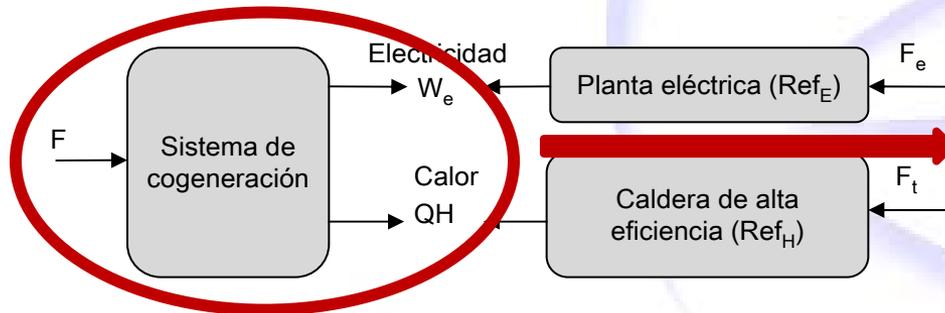
Aplicación actual	
Opción posible de futuro	

Aplicaciones						Características tecno-económicas		
Calefacción de distrito	Industria maderera	Agricultura/Silvicultura/Granjas	Calefacción residencial	Otros sectores industriales	Cogeneración Centralizada	Eficiencia Eléctrica, %	Potencia, MW <sub>e</sub>	Costes de Inversión, €/kW <sub>e</sub>

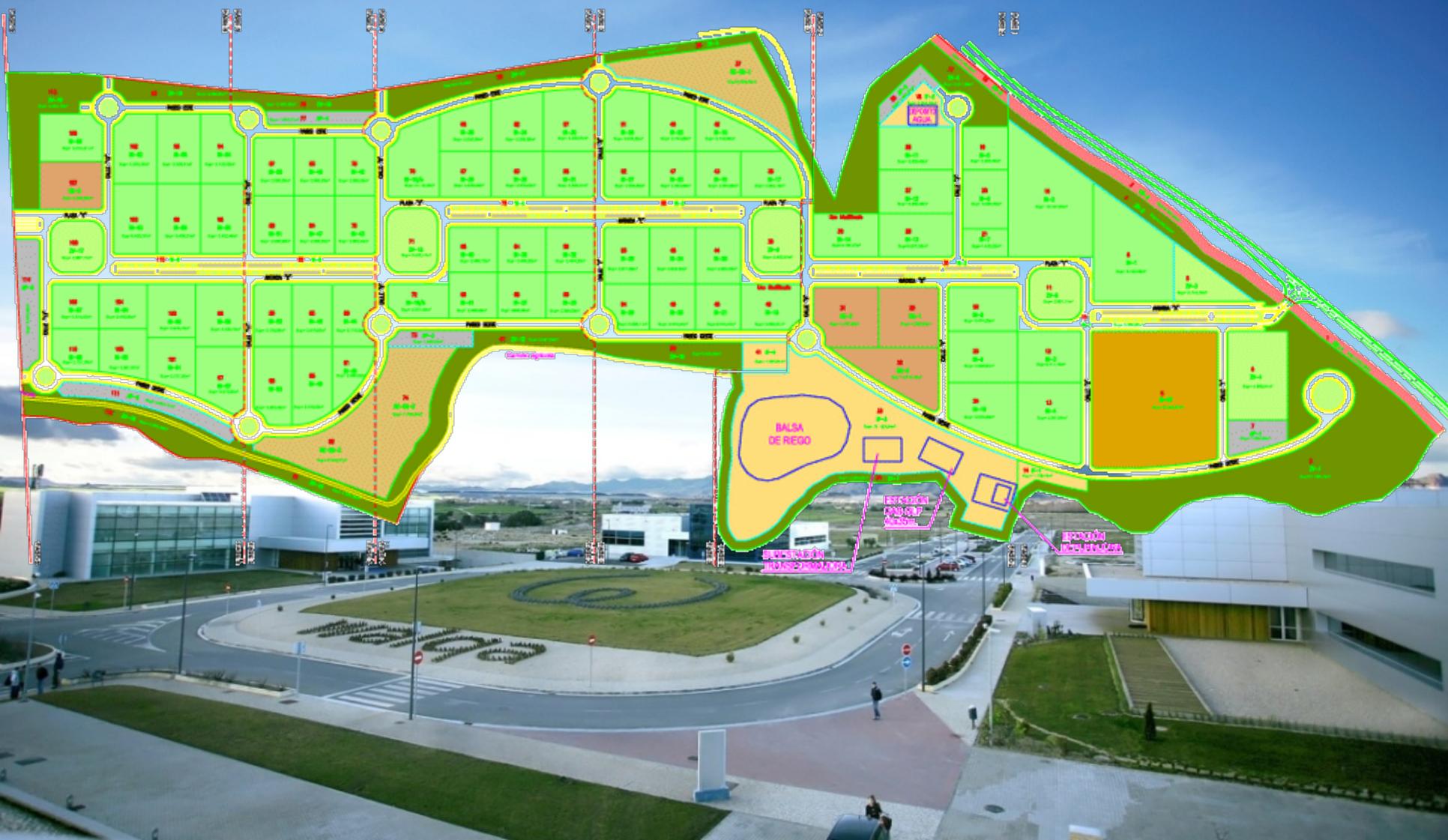
Tecnologías	Sistemas basados en la combustión directa							Eficiencia Eléctrica, %	Potencia, MW <sub>e</sub>	Costes de Inversión, €/kW <sub>e</sub>			
	Ciclo Rankine Convencional										10-35	0,1-100	2.500-4.000
	Ciclo Rankine Orgánico										10-25	0,05-2	2.500-6.000
	Motor Stirling										12-30	0,001-1,5	3.000-6.000
	Sistemas basados en la gasificación + combustión												
	MACI										20-45	0,03-30	2.000-3.000
Turbina de Gas							15-50	0,025-25	3.000-4.000				

# SISTEMAS DE POLIGENERACIÓN

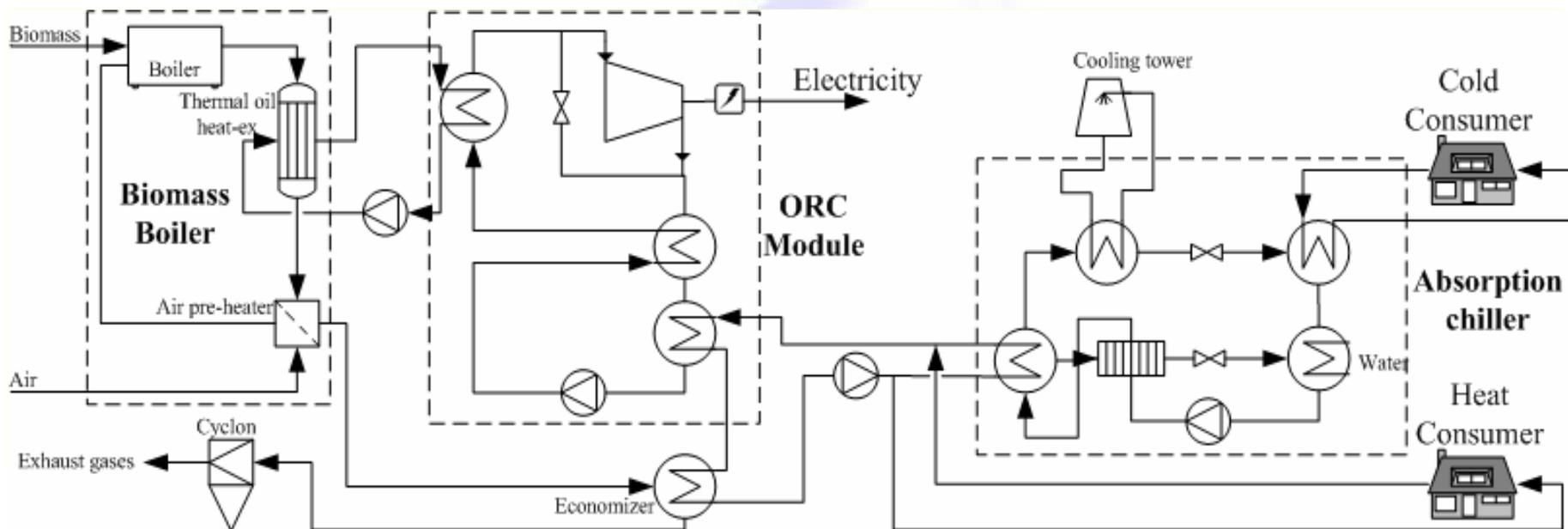
- Producir de forma combinada varios productos (energéticos o no) de forma globalmente más eficiente.
- En España → RD 661:
  - Precio de venta de la electricidad dependiendo del combustible biomásico utilizado (Residuo forestal, cultivo energético, ...)
  - Complemento por eficiencia de la



# PARQUE TECNOLÓGICO WALQA



# MARCO DEL ANÁLISIS DE VIABILIDAD



S3

Generación  
eléctrica

S2

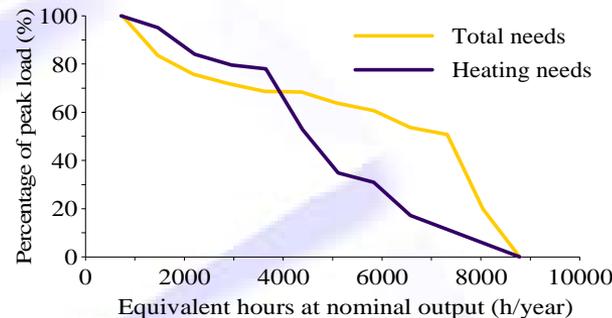
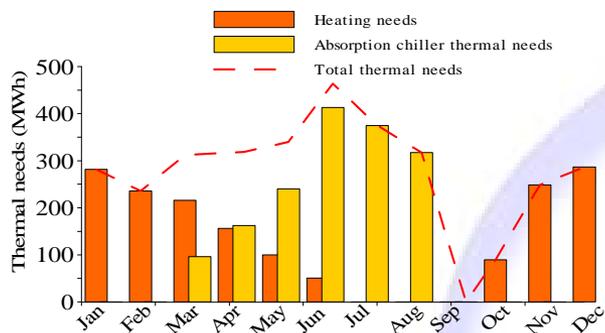
Generación  
frío

S1

Generación  
calor

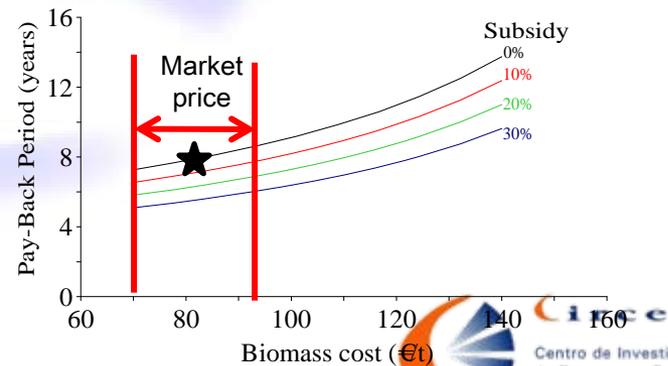
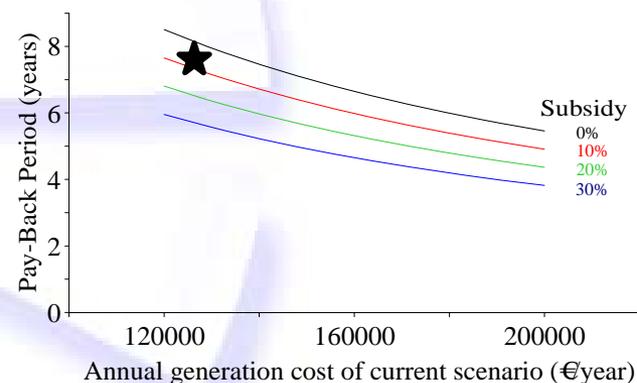
# ESTUDIO TECNO-ÉCONÓMICO

## • Demandas actuales



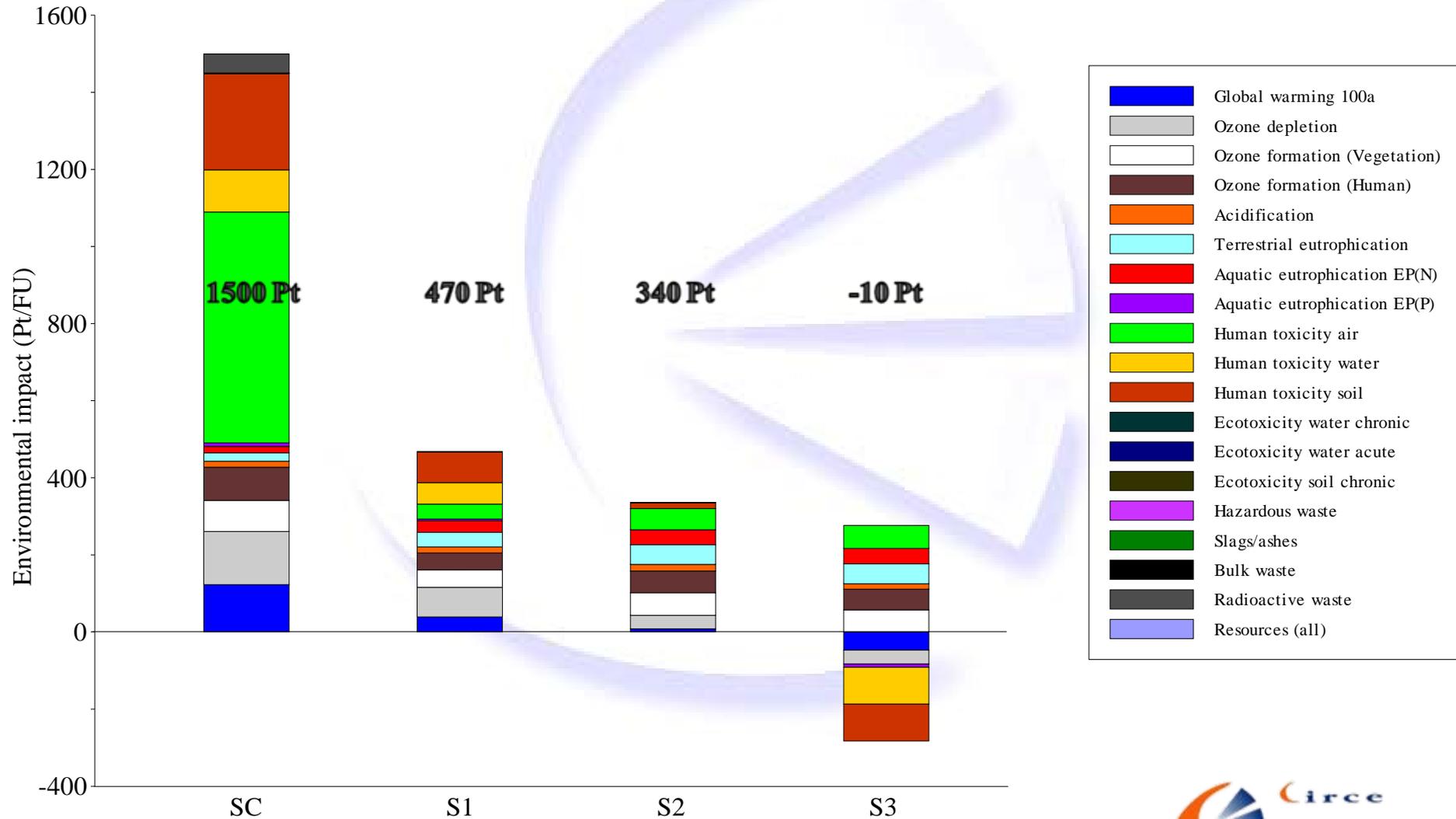
## • Resultados

Escenarios	S1	S2	S3
Distancia instalación, km	0.5	0.5	<b>0.5</b>
Carga pico, %	80	80	<b>70</b>
Potencia de caldera, kW <sub>th</sub>	775	1.235	<b>1.850</b>
Potencia de máquina de refrigeración, kW <sub>th</sub>	-	665	<b>780</b>
Potencia de ORC, kW <sub>e</sub>	-	-	<b>315</b>
Coste de biomasa, €/year	40.000	70.000	<b>115.000</b>
Ahorro anual, €/year	45.000	51.000	<b>156.000</b>
Coste de inversión, M€	0,20	0,52	<b>1,22</b>
<b>REE, %</b>	-	-	<b>47-48</b>
<b>Periodo Retorno, años</b>	<b>4-5</b>	<b>10-11</b>	<b>6-7</b>



# ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL

- Estudio ambiental: Análisis de Ciclo de Vida (Método de evaluación de impacto EDIP 2003)



# CONCLUSIONES

- Gran potencial de la generación eléctrica descentralizada de acuerdo a tecnologías disponibles actualmente.
- Importancia de los sistemas de poligeneración desde el punto de vista:
  - Energético
  - Económico
  - Medioambiental
- Es vital tener una visión general del contexto de cada proyecto:
  1. Optimización de la generación de energía térmica y/o eléctrica dependiendo de las demandas.
  2. Producción y logística de la biomasa.
  3. Características tecnológicas de los equipos
- Líneas de I+D a efectuar en los próximos años acerca de la generación eléctrica distribuida:
  - Poligeneración con biomasa a pequeña escala.
  - Limpieza de gases provenientes de la gasificación/pirólisis.
  - Automatización y control para optimizar en cada momento las instalaciones.
  - Desarrollo tecnológico

# Bibliografía

1. *Energía de la Biomasa*. Sebastián, F.; Rezeau, A.; García, D. Prensas Universitarias de Zaragoza. 2009.
2. *Biomass fired Combined Heat and Power Plants (CHP) with Organic Rankine Cycle (ORC) in Europe*. Kiehne, H. Energy from Biomass and Waste, Pittsburgh, PA, USA. 2008.
3. *Real Decreto 661/2007 por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial*. MITYC . 2007.
4. *Electricity from Biomass*. BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH. 2009
5. *ORC Module Technical documentation*. Adoratec, Turboden, Infinity LLC. 2009
6. Working fluids for low-temperature organic Rankine cycles. Saleh, B. et al. 2007
7. *Stirling Engine Technical documentation*. KWB, Stirling Danmark. 2009
8. Technology Characterization: Reciprocating engines. Environmental Protection Agency. 2002.
9. *Producción combinada de electricidad, calor, frío y agua, de forma sostenible en el sector turístico*. Rubio, C. Universidad de Zaragoza. 2009.
10. *Basic Information regarding decentralised plants based on biomass combustion in selected IEA partner countries final report*. Obernberger, I. 2004
11. *Thermodynamic optimization of a trigeneration system based on biomass combustion*. Maraver, D. 2009

*¡Gracias por su atención!*

Daniel Maraver, Adeline Rezeau, Fernando Sebastián, Javier Royo y el resto del  
Área de Biomasa (División de Recursos Naturales) de la Fundación CIRCE



**Circe**

Centro de Investigación  
de Recursos y Consumos  
Energéticos