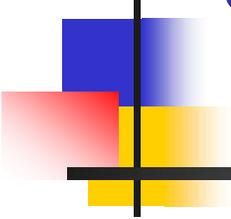
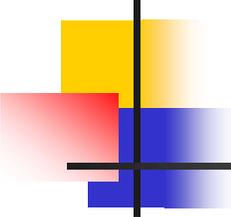


# Ahorro de energía: La termodinámica química aplicada a la industria de proceso



---

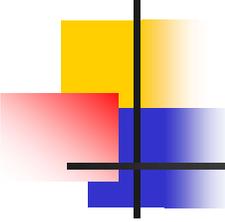
Dr. Enrique Bazúa Rueda  
Facultad de Química, UNAM



# Contenido

---

- **Panorama de la energía en el mundo**
- **Ingeniería verde**
- **Uso de energía en la industria**
- **Uso eficiente de energía en la industria**
- **Conclusiones**



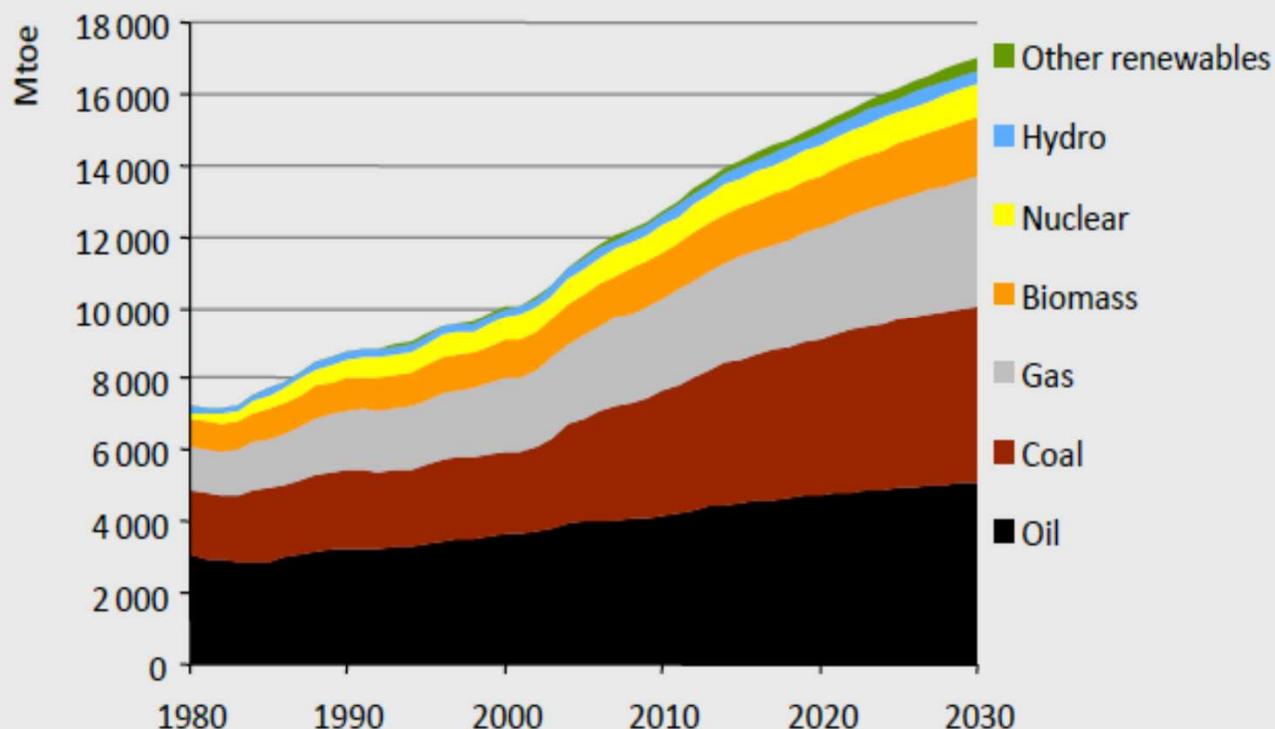
# Contenido

---

- **Panorama de la energía en el mundo**
- Ingeniería verde
- Uso de energía en la industria
- Uso eficiente de energía en la industria
- Conclusiones

# World primary energy demand in the Reference Scenario: this is unsustainable!

World  
Energy  
Outlook  
2008

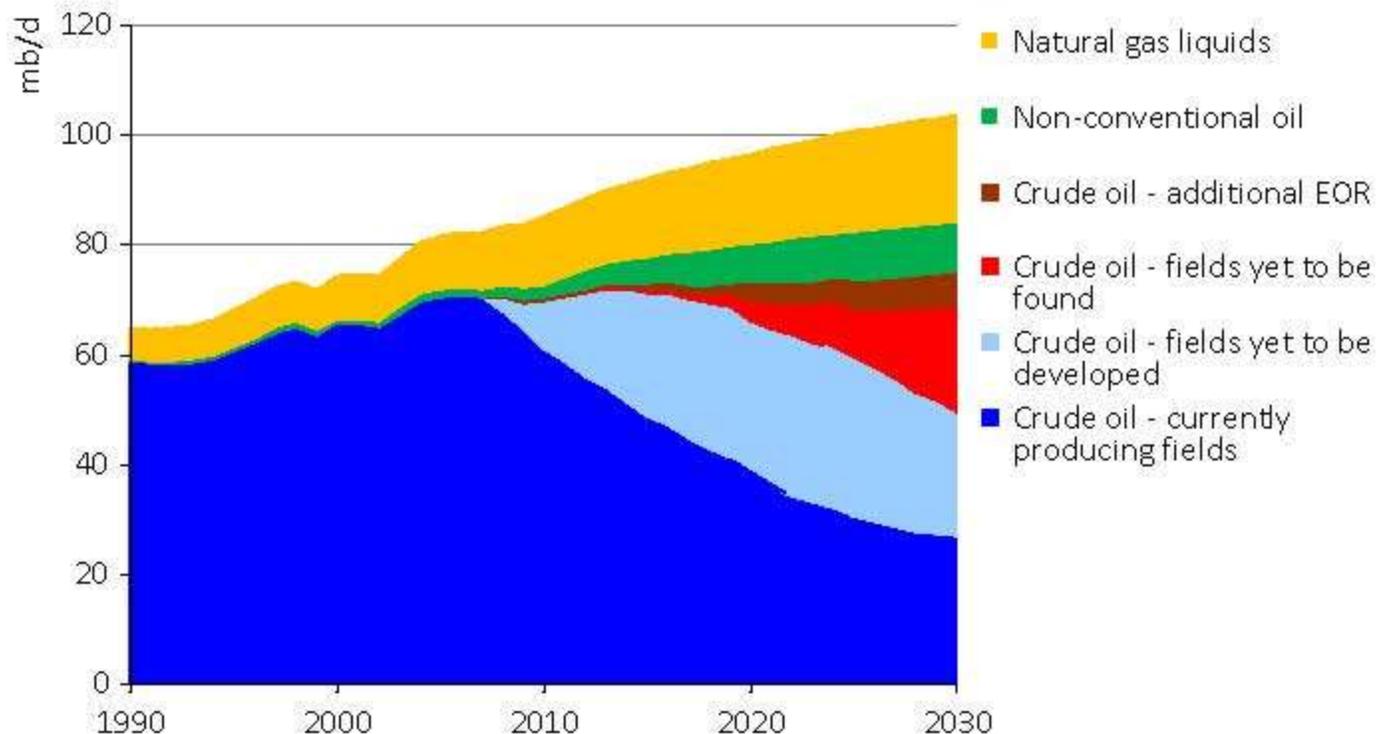


*World energy demand expands by 45% between now and 2030 – an average rate of increase of 1.6% per year – with coal accounting for more than a third of the overall rise*

# World oil production in the Reference Scenario

El petróleo barato se está acabando, pero hay suficiente petróleo aunque caro y difícil de obtener. Sería un error apostarle a que el petróleo se acaba en el futuro cercano.

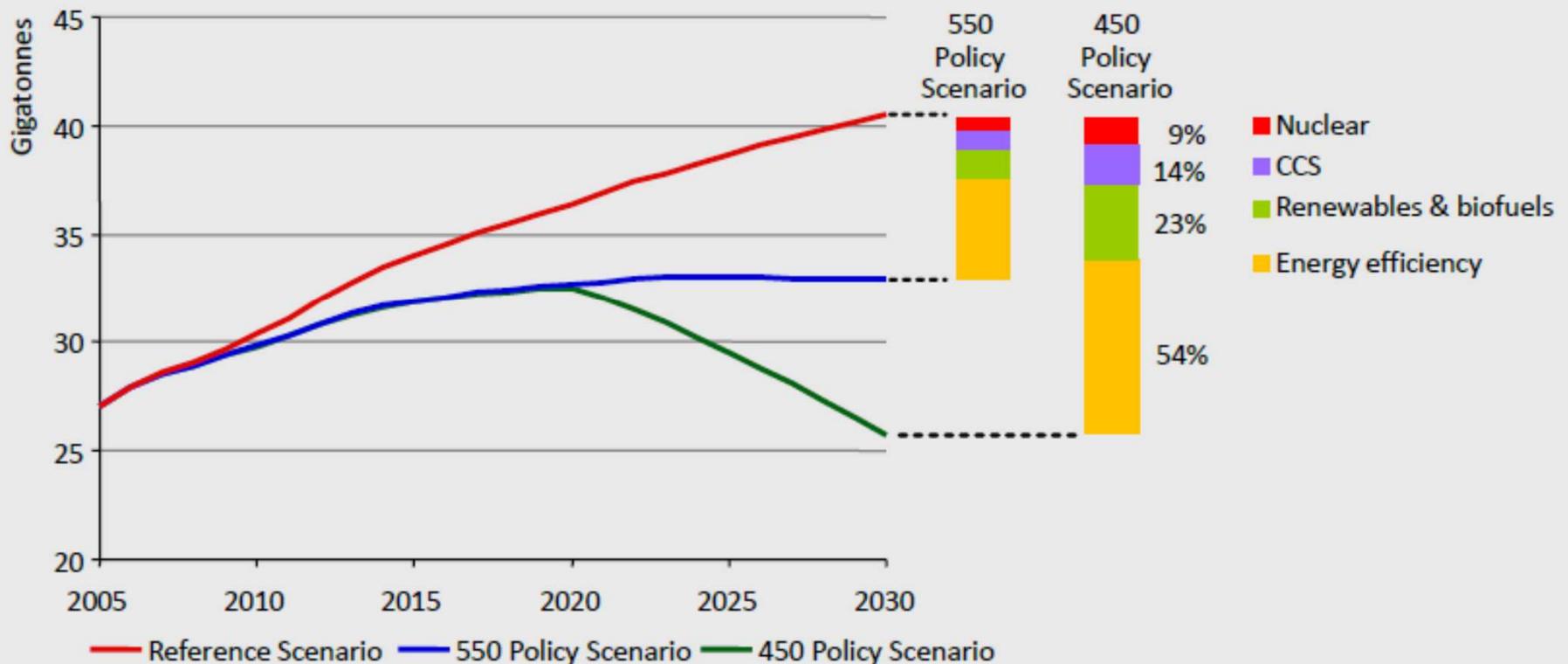
World  
Energy  
Outlook  
2008



***Production reaches 104 mb/d in 2030, requiring 64 mb/d of gross capacity additions – six times the current capacity of Saudi Arabia – to meet demand growth & counter decline***

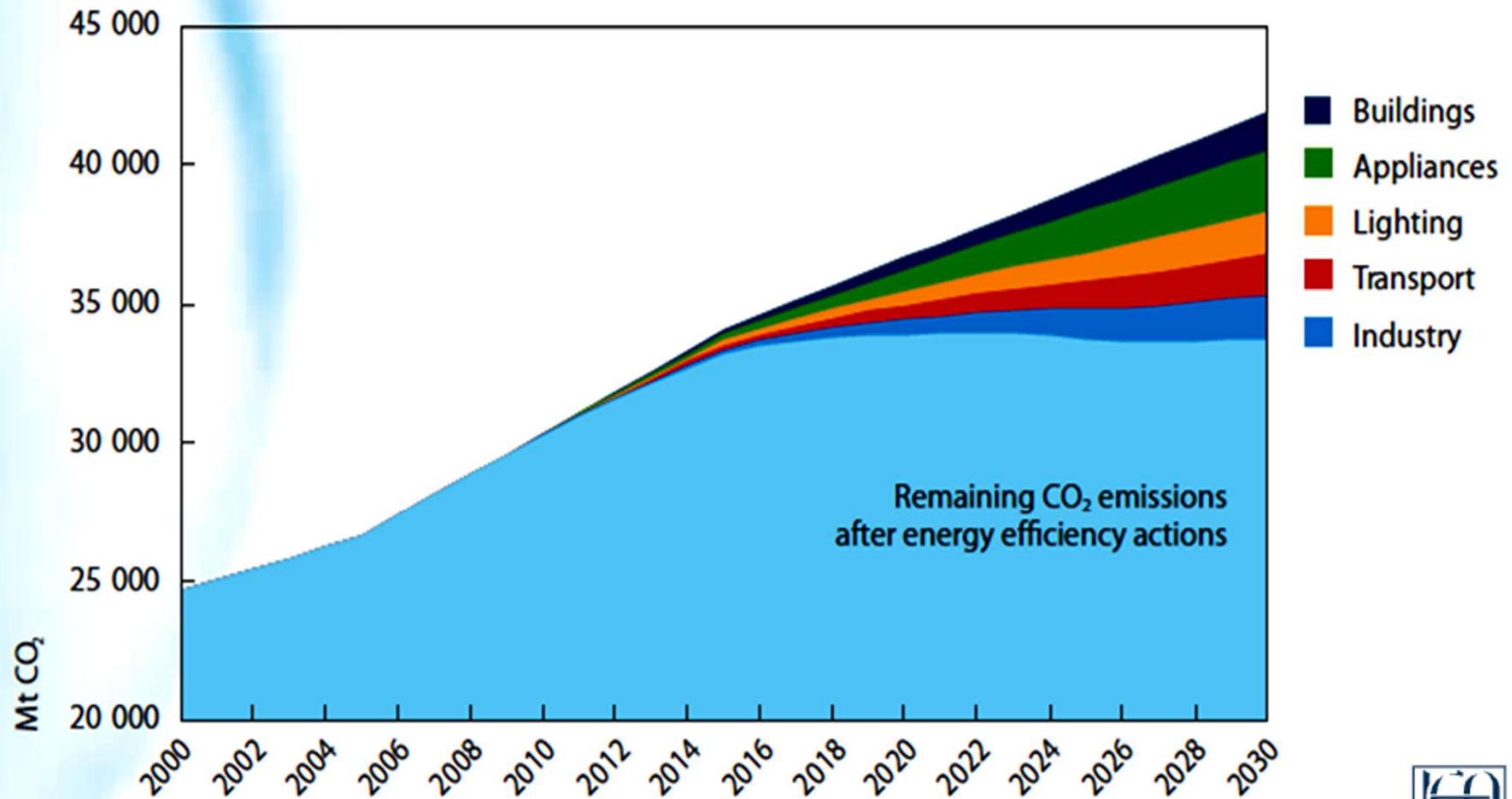
# Reductions in energy-related CO<sub>2</sub> emissions in the climate-policy scenarios

World  
Energy  
Outlook  
2008



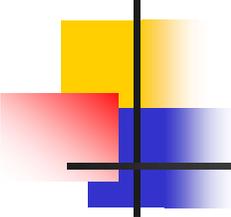
*While technological progress is needed to achieve some emissions reductions, efficiency gains and deployment of existing low-carbon energy accounts for most of the savings*

## CO<sub>2</sub> savings potential from energy efficiency recommendations



Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions (IEA)





# Contenido

---

- Panorama de la energía en el mundo
- **Ingeniería verde**
- Uso de energía en la industria
- Uso eficiente de energía en la industria
- Conclusiones

# Concepto de Química Verde

---

## American Chemical Society

### Green Chemistry at a Glance Definition

Green chemistry is the design, development, and implementation of chemical products and processes to reduce or eliminate the use and generation of substances hazardous to human health and the environment.

# Los 12 Principios de la Química Verde

---

1. Prevention
  2. Atom Economy
  3. Less Hazardous Chemical Syntheses
  4. Designing Safer Chemicals
  5. Safer Solvents and Auxiliaries
  - 6. Design for Energy Efficiency**
  7. Use of Renewable Feedstocks
  8. Reduce Derivatives
  9. Catalysis
  10. Design for Degradation
  11. Real-time analysis for Pollution Prevention
  12. Inherently Safer Chemistry for Accident prevention
-

# THE HANNOVER PRINCIPLES

---

The Hannover Principles should be seen as a living document committed to the transformation and growth in the understanding of our interdependence with nature, so that they may adapt as our knowledge of the world evolves.

## **Sustainability:**

"Meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs."

(World Commission on Environment and Development)

## **The Hannover Principles**

Design for Sustainability

Prepared for EXPO 2000; The World's Fair; Hannover, Germany

# THE HANNOVER PRINCIPLES

---

## **Design:**

The Hannover Principles aim to provide a platform upon which designers can consider how to adapt their work toward sustainable ends. Designers include all those who change the environment with the inspiration of human creativity. Design implies the conception and realization of human needs and desires.

## **Design for Sustainability:**

Designing for sustainability requires awareness of the full short and long-term consequences of any transformation of the environment. Sustainable design is the conception and realization of environmentally sensitive and responsible expression as a part of the evolving matrix of nature.

# THE HANNOVER PRINCIPLES

---

**1. Insist on rights of humanity and nature to co-exist** in a healthy, supportive, diverse and sustainable condition.

**2. Recognize interdependence.** The elements of human design interact with and depend upon the natural world, with broad and diverse implications at every scale. Expand design considerations to recognizing even distant effects.

**3. Respect relationships between spirit and matter.** Consider all aspects of human settlement including community, dwelling, industry and trade in terms of existing and evolving connections between spiritual and material consciousness.

# THE HANNOVER PRINCIPLES

---

**4. Accept responsibility for the consequences of design** decisions upon human well-being, the viability of natural systems and their right to co-exist.

**5. Create safe objects of long-term value.** Do not burden future generations with requirements for maintenance or vigilant administration of potential danger due to the careless creation of products, processes or standards.

**6. Eliminate the concept of waste.** Evaluate and optimize the full life-cycle of products and processes, to approach the state of natural systems, in which there is no waste.

# THE HANNOVER PRINCIPLES

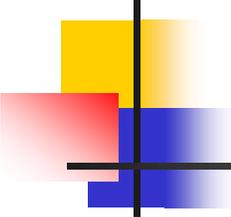
---

**7. Rely on natural energy flows.** Human designs should, like the living world, derive their creative forces from perpetual solar income. Incorporate this energy efficiently and safely for responsible use.

**8. Understand the limitations of design.** No human creation lasts forever and design does not solve all problems. Those who create and plan should practice humility in the face of nature. Treat nature as a model and mentor, not as an inconvenience to be evaded or controlled.

**9. Seek constant improvement by the sharing of knowledge.** Encourage direct and open communication between colleagues, patrons, manufacturers and users to link long term sustainable considerations with ethical responsibility, and re-establish the integral relationship between natural processes and human activity.

---



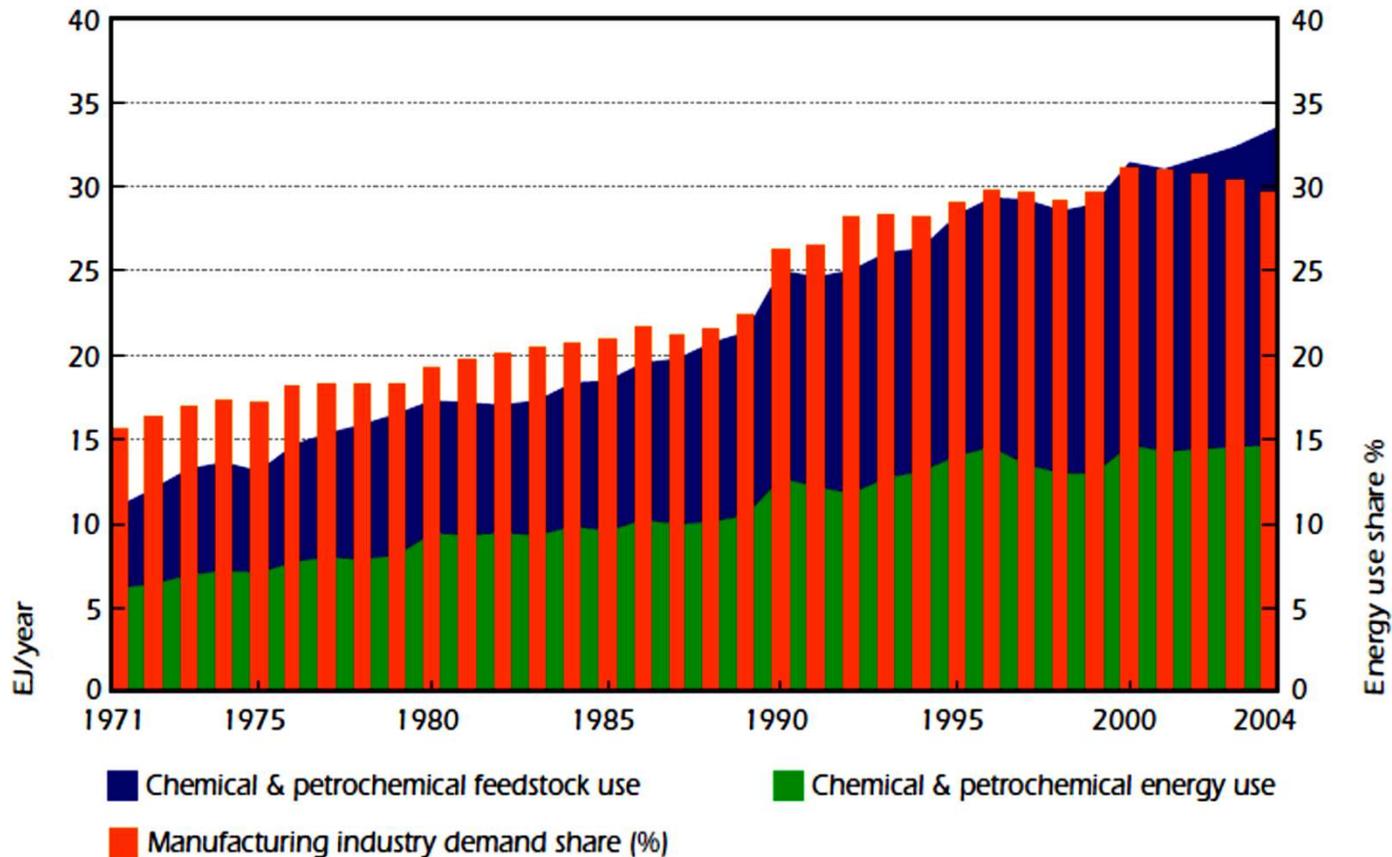
# Contenido

---

- Panorama de la energía en el mundo
- Ingeniería verde
- **Uso de energía en la industria**
- Uso eficiente de energía en la industria
- Conclusiones

**Figure 4.1** ► *World Chemical and Petrochemical Industry Energy Use, 1971 – 2004*

**Key point:** The share of chemical and petrochemical industry in total manufacturing energy use has doubled from 15 to 30% in the past thirty - five years.



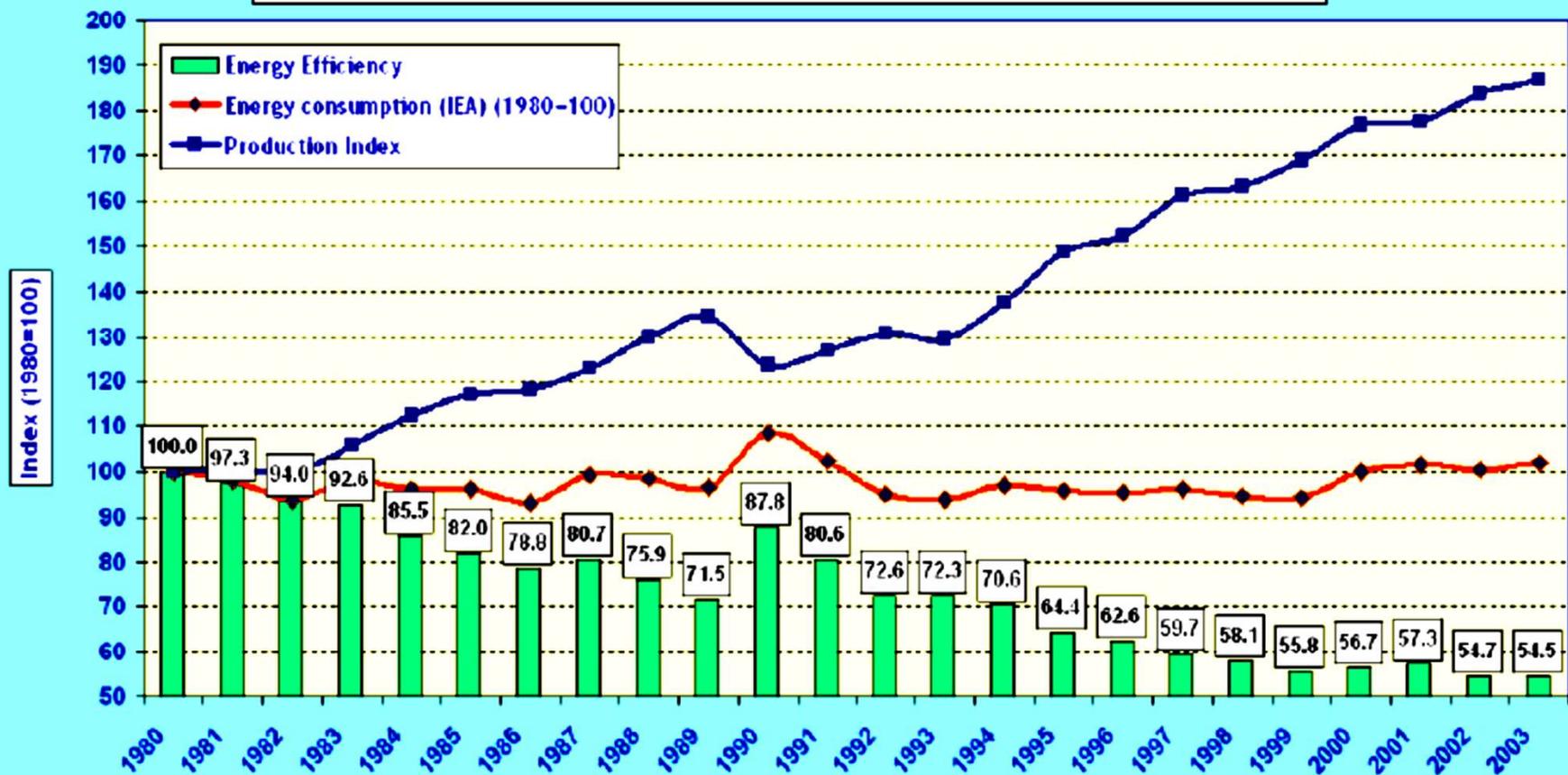
Source: IEA statistics.



# Evolution of energy use of chemical industry in EU-15



Energy Efficiency in the EU Chemical\* Industry: 1980-2003

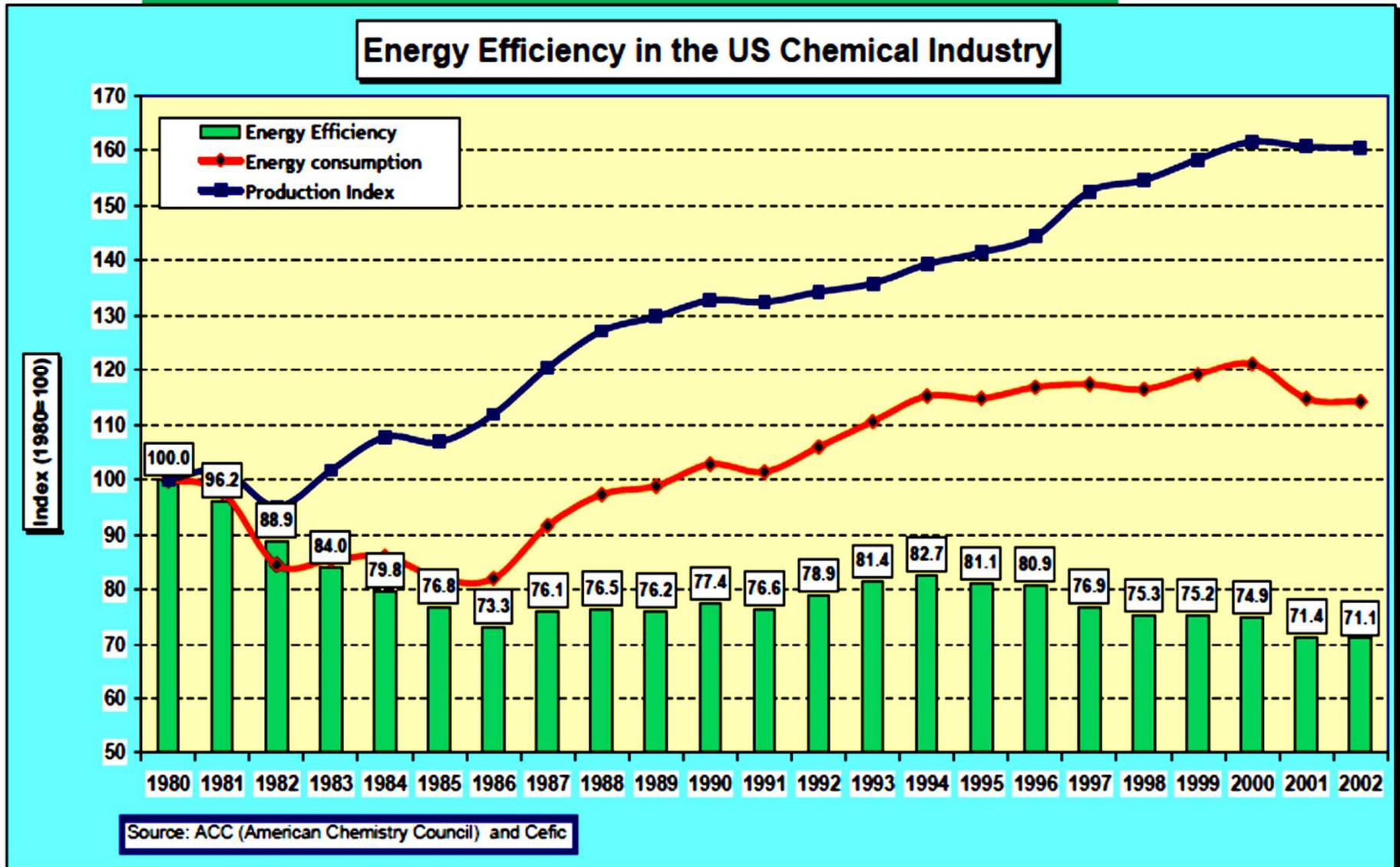


Source: IEA (International Energy Agency) and Cefic

Note: Energy efficiency is measured by energy input per unit of chemicals production.

Energy input is taken from IEA publication. It includes Petrochemicals and Rubber & Plastic processing. It is calculated as total less feedstock

# Energy efficiency in the US industry



**Table 4.22 ► Energy Savings Potential in the Chemical and Petrochemical Industry**

	Estimated Savings <i>EJ</i>
Heat	4
Electricity	1
Recycling and Energy Recovery	2 - 4
CHP	1.5 - 2
<b>Total</b>	<b>8.5 - 11</b>

Note: Heat, electricity and recycling are expressed in final energy units. Energy recovery and CHP refer to the energy content of the waste and saved fuel.

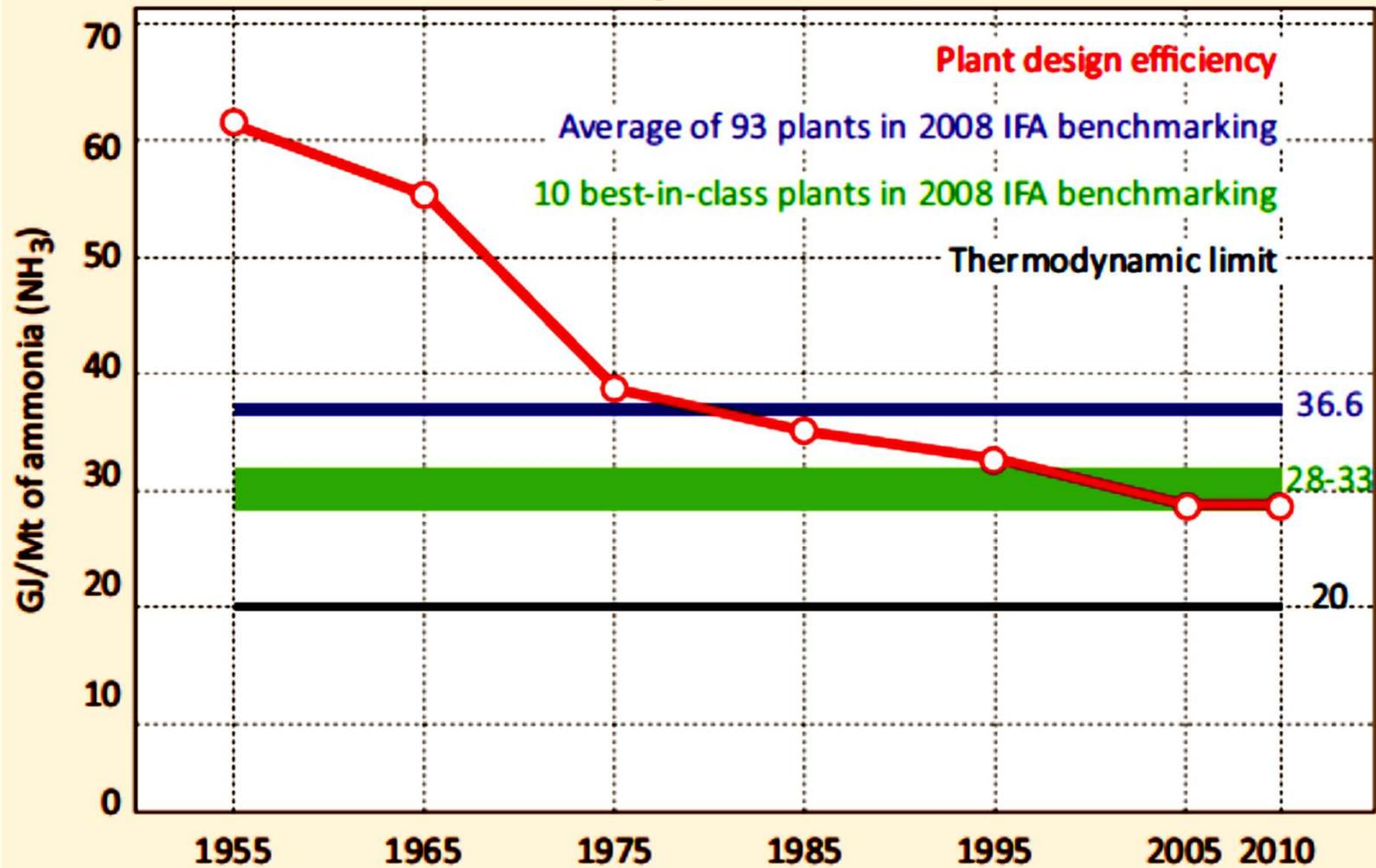
Source: IEA estimates.

Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions (IEA)

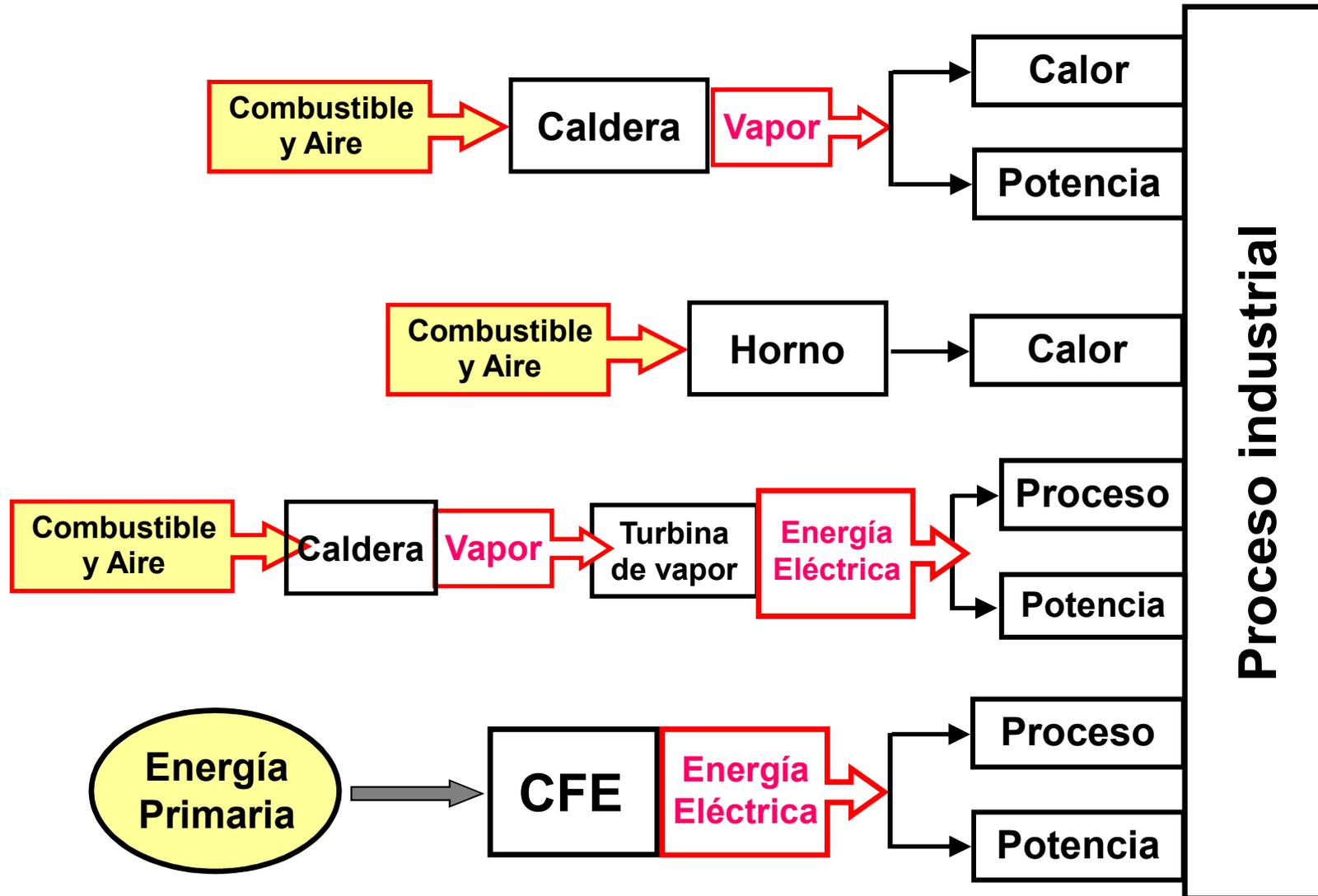


## Improved energy performance

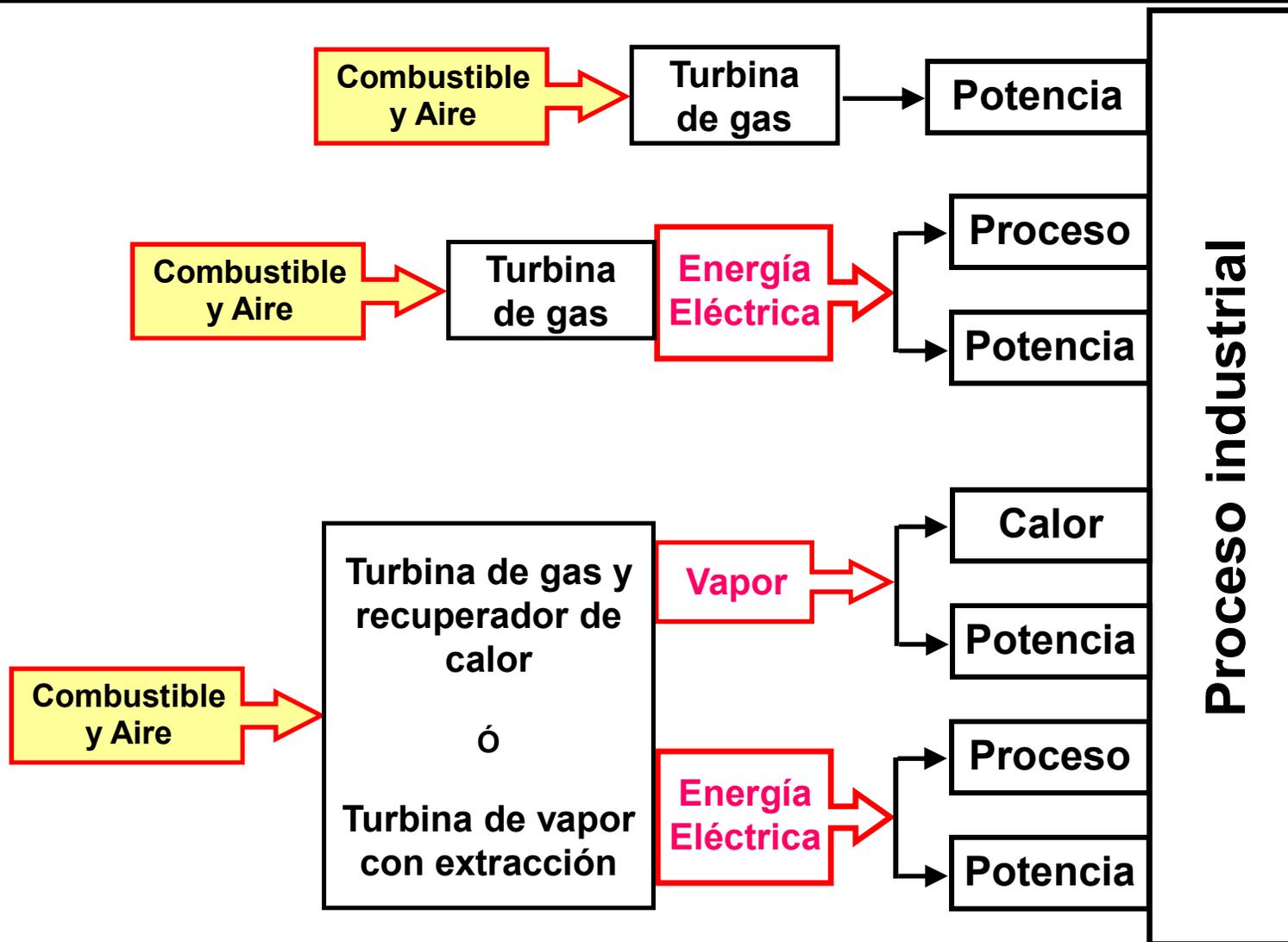
### Consumo de energía en plantas de amoníaco

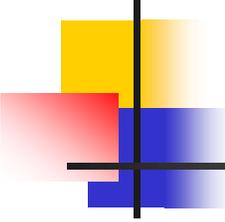


# Suministro de energía a un proceso (1/2)



# Suministro de energía a un proceso (2/2)





# Contenido

---

- Panorama de la energía en el mundo
- Ingeniería verde
- Uso de energía en la industria
- **Uso eficiente de energía en la industria**
- Conclusiones

# **Objetivo general del ahorro de energía o uso eficiente de energía en procesos industriales**

---

## **Disminuir el consumo de:**

- **Vapor en cambiadores de calor de proceso**
- **Vapor en turbinas de proceso para mover compresores y bombas**
- **Energía eléctrica en motores**
- **Combustible en hornos de proceso y calderas de vapor**
- **Combustible para la generación vapor**
- **Combustible para la generación de energía eléctrica**

# Objetivos particulares para el ahorro de energía en procesos industriales (1/3)

---

## Disminuir las pérdidas de energía a la atmósfera

- ❖ Aislamiento de líneas y equipos de proceso **en buen estado**
- ❖ **Disminuir** las fugas de vapor (trampas de vapor en buen estado, no ventear vapor, mantenimiento a las líneas de vapor)
- ❖ **Recuperar** los condensados y regresarlos al circuito de vapor
- ❖ Temperatura **baja** de los gases de combustión en la chimenea (exceso de aire, instalar equipos recuperadores de calor como precalentadores de aire o economizadores)

# Objetivos particulares para el ahorro de energía en procesos industriales (2/3)

---

## Disminuir las pérdidas de energía a la atmósfera (cont.)

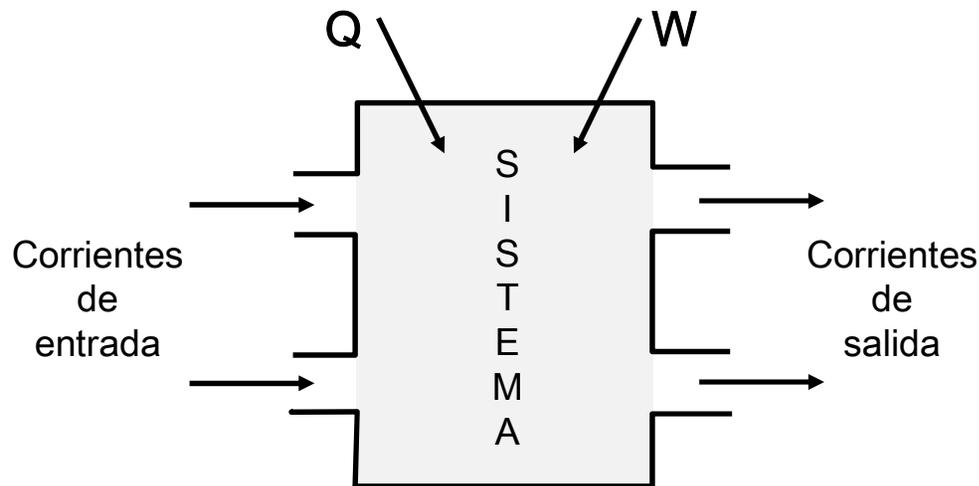
- ❖ **Dar mantenimiento** a los equipos de intercambio de calor para evitar incrustaciones que provocan disminución en la transferencia de calor
- ❖ **Disminuir** el reproceso de materiales
- ❖ Instalar sistemas de **cogeneración** de energía eléctrica y vapor de proceso
- ❖ Instalar equipos **recuperadores de calor** como generadores de vapor o precalentadores de agua de alimentación de calderas.

# Objetivos particulares para el ahorro de energía en procesos industriales (3/3)

---

## Optimización y control de los procesos

- ❖ Optimización de la red de intercambio de calor (Metodología Pinch). Gradientes de temperatura
- ❖ Optimización del circuito de vapor
  1. Aumentar la temperatura del agua de retorno al domo de la caldera
  2. Aumentar la presión de generación de vapor
  3. Eliminar válvulas de expansión y poner en su lugar turbinas que recuperen trabajo
- ❖ Análisis termodinámico (exergía) del proceso
- ❖ Modificaciones al proceso (catalizadores, métodos de separación, nuevas rutas, etc.)
- ❖ Control avanzado de procesos



## Ecuaciones para el análisis termodinámico de procesos industriales

$$\dot{W}_{eq} = (\dot{W}_{eq})_{\min} + \dot{W}_P$$

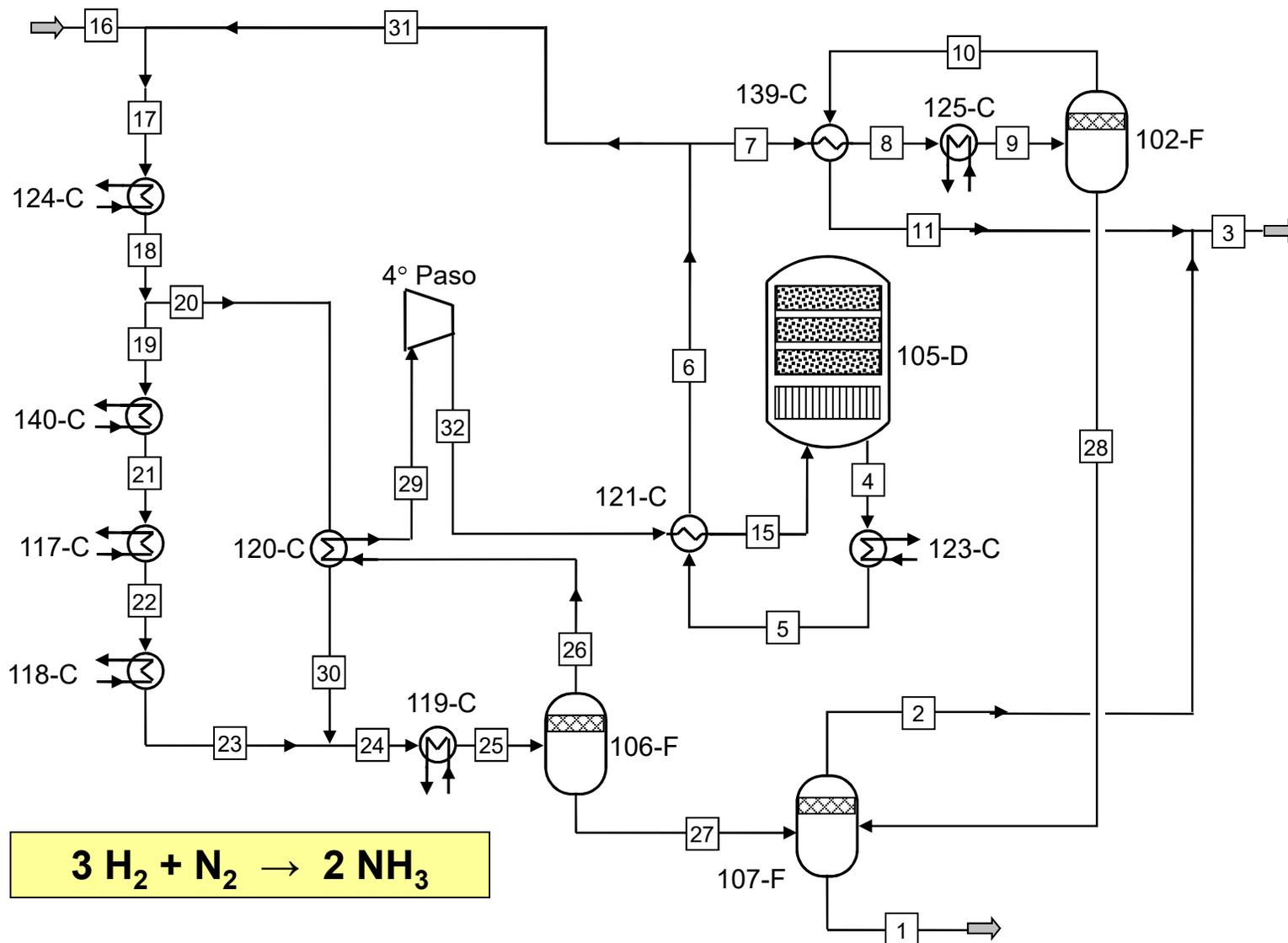
$$\dot{W}_P = T_{amb} (\dot{S}_{gen})_{Total}$$

$$\dot{Q} + \dot{W} = \Delta H = \sum_{salidas} [h]_{sal} \dot{M}_{sal} - \sum_{entradas} [h]_{ent} \dot{M}_{ent}$$

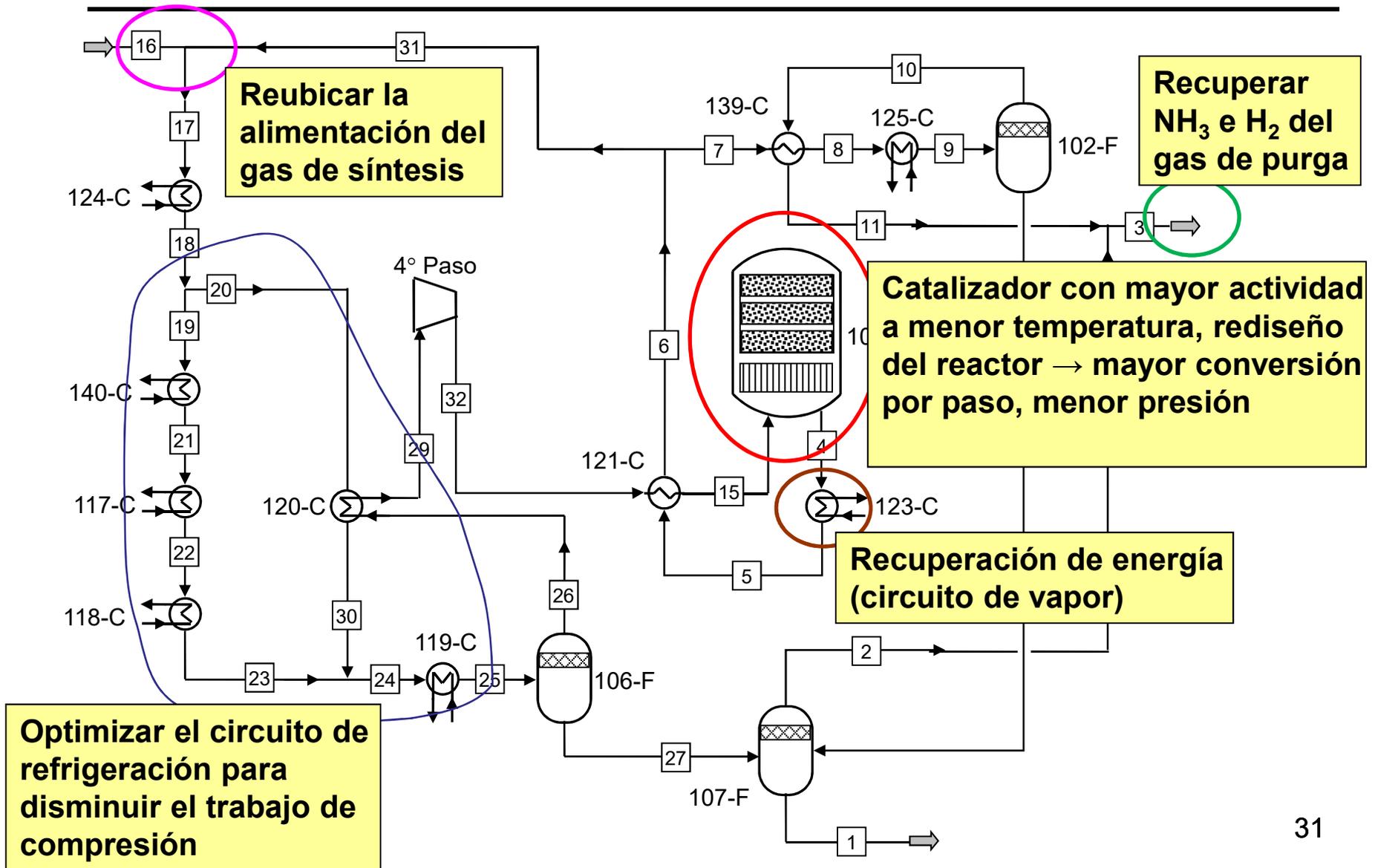
$$(\dot{S}_{gen})_{Total} = \Delta S - \frac{\dot{Q}}{T_{ext}} = \sum_{salidas} [s]_{sal} \dot{M}_{sal} - \sum_{entradas} [s]_{ent} \dot{M}_{ent} - \sum_i \frac{(\dot{Q}_i)}{(T_i)_{ext}}$$

$$(\dot{W}_{eq})_{\min} = \Delta Ex = \sum_{salidas} [h - T_{amb} s]_{sal} \dot{M}_{sal} - \sum_{entradas} [h - T_{amb} s]_{ent} \dot{M}_{ent}$$

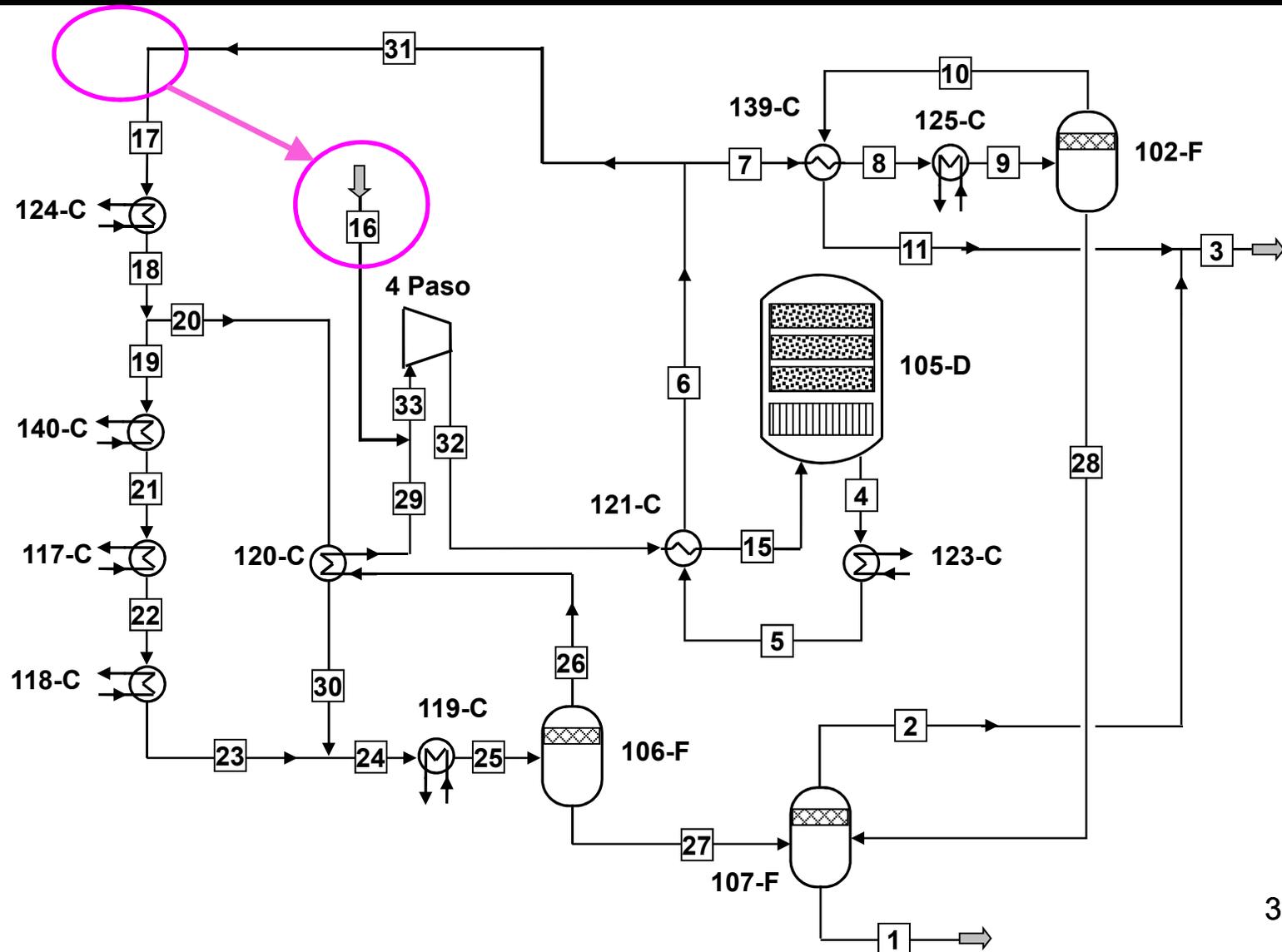
# Ejemplo: Circuito de síntesis de una planta de NH<sub>3</sub>



# Identificar las operaciones que deben ser estudiadas para reducir el consumo de energía del proceso



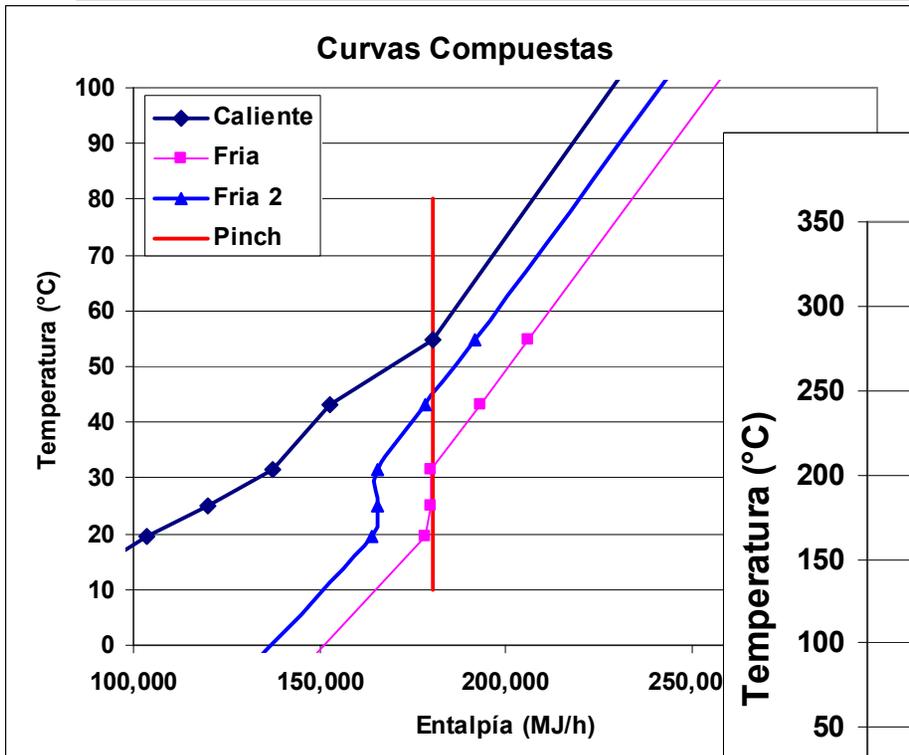
# Modificación al proceso: Reubicación de la alimentación al circuito de síntesis de $\text{NH}_3$



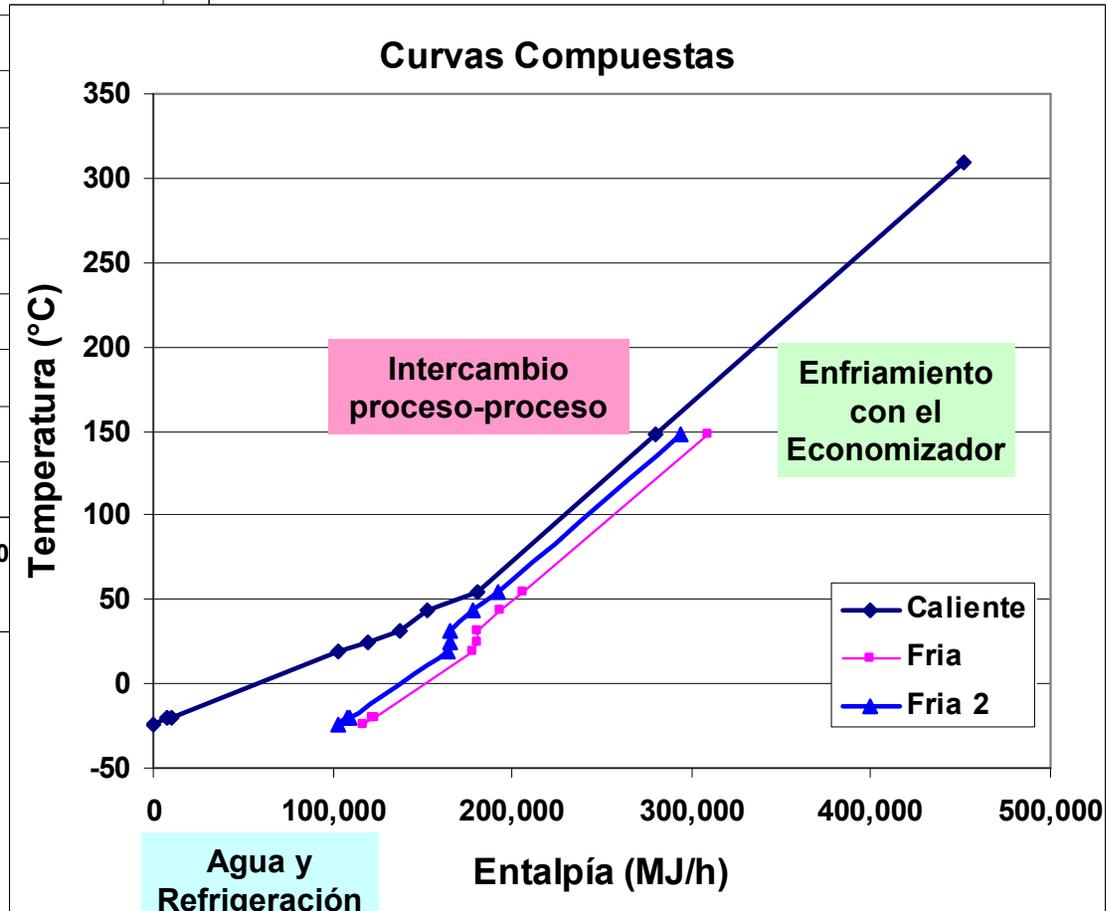
# Comparación de variables de proceso por la ubicación de la alimentación

Variable de proceso		Proceso original	Proceso modificado
<b>Flujo de la recirculación</b>	kmol/h	<b>31 020</b>	<b>30 840</b>
<b>Carga térmica de los enfriadores</b>			
140-C (1 <sup>er</sup> Nivel de Refrigeración)	MJ/h	-28 215	-28 169
117-C (2 <sup>o</sup> Nivel de Refrigeración)	MJ/h	-20 878	-17 101
118-C (3 <sup>er</sup> Nivel de Refrigeración)	MJ/h	-17 752	-14 610
119-C (4 <sup>o</sup> Nivel de Refrigeración)	MJ/h	-23 863	-21 265
125-C (Refrigeración de la purga)	MJ/h	-1 166	-1 204
<b>Total</b>	MJ/h	<b>-91 874</b>	<b>-82 340</b>
<b>Carga térmica del economizador 123-C</b>	MJ/h	<b>-155 069</b>	<b>-156 728</b>
<b>Potencia del 4o Paso (Recirculación)</b>	MJ/h	<b>13 307</b>	<b>13 527</b>

# Metodología Pinch: Curvas compuestas para el circuito de síntesis de NH<sub>3</sub>

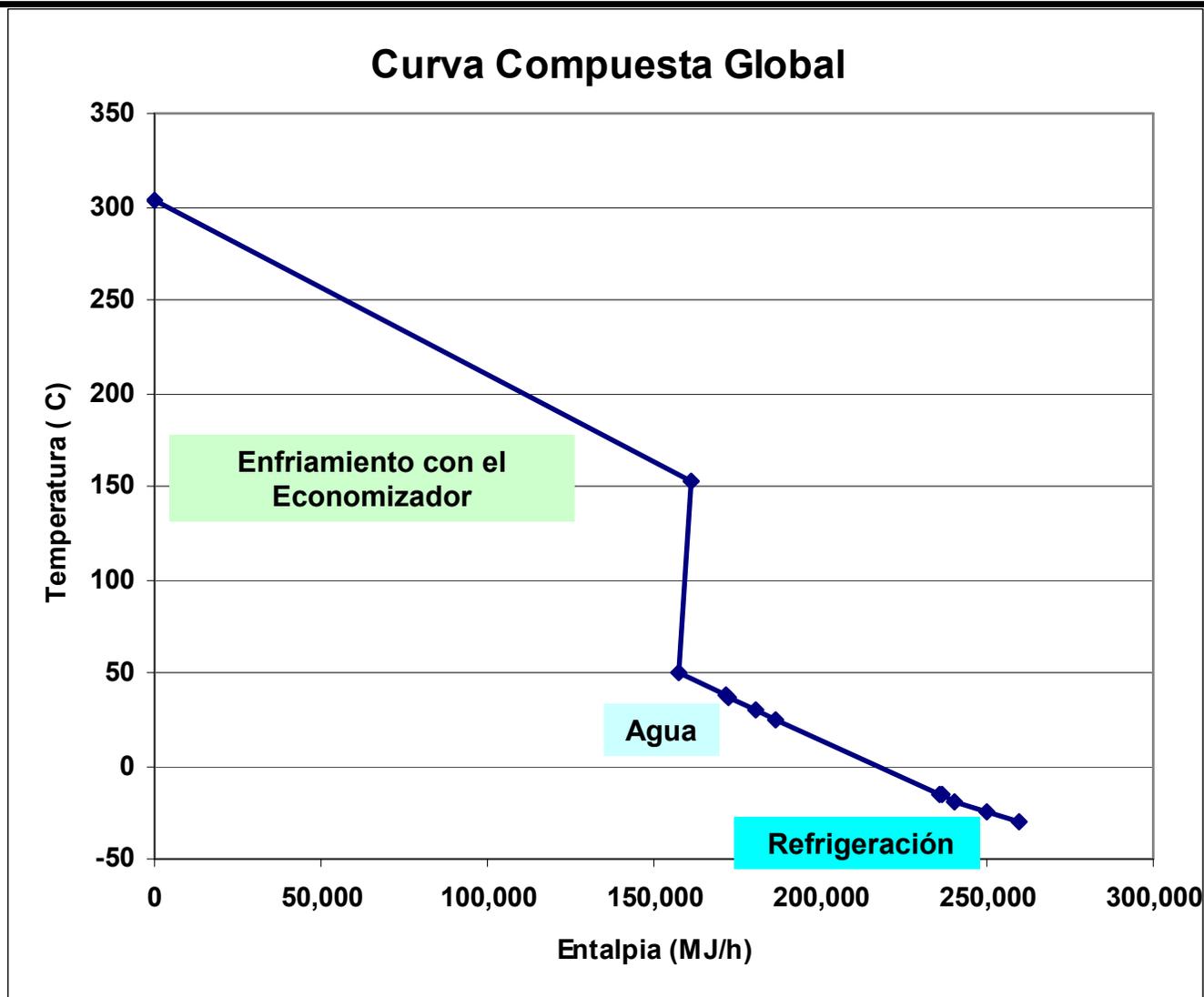


Fria 2 con  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$



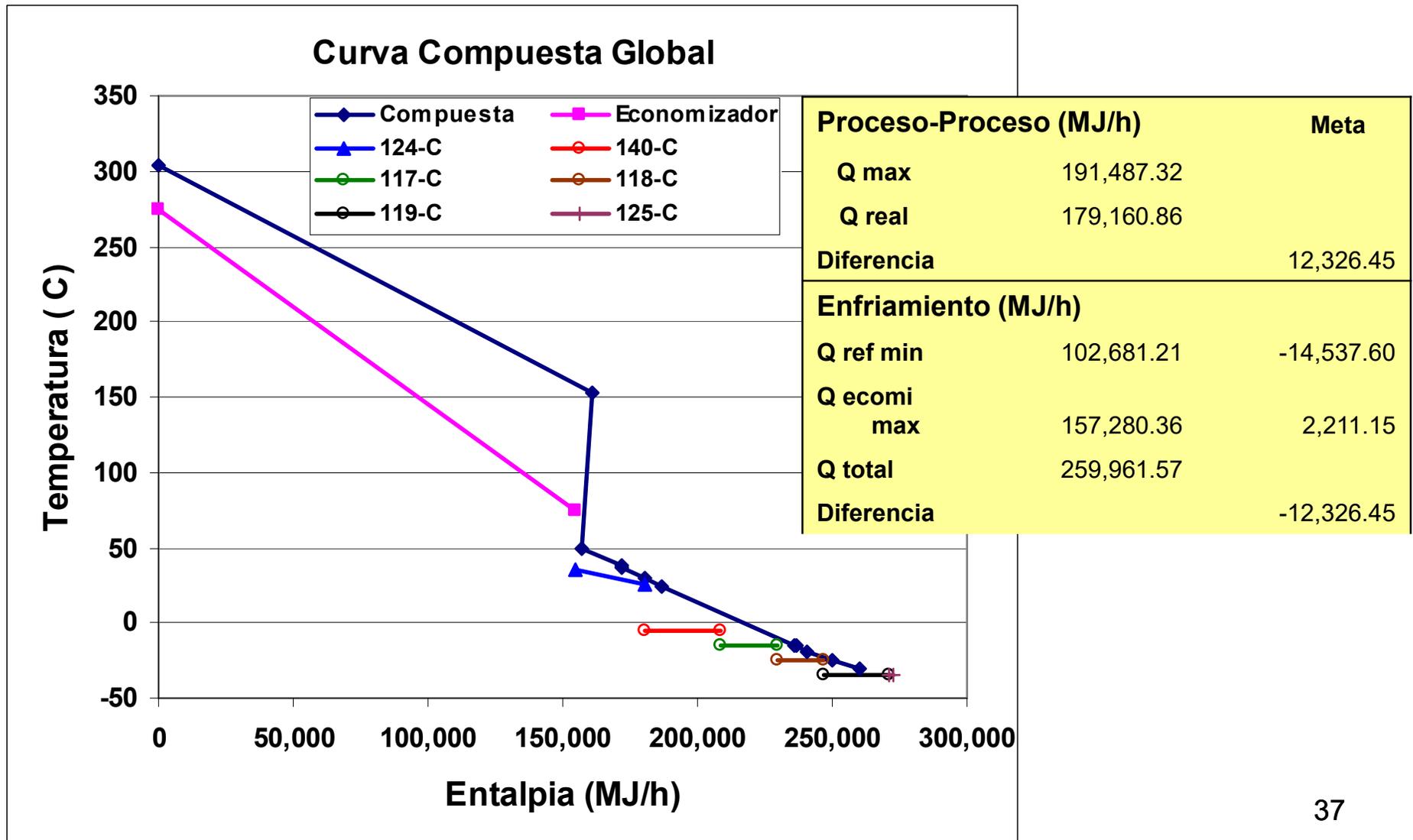
No requiere calentamiento externo.  
 Dos zonas de enfriamiento

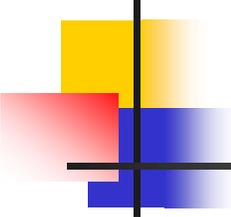
# Curva compuesta global para el circuito de síntesis de NH<sub>3</sub>





# Curva compuesta global para el circuito de síntesis de NH3





# Contenido

---

- **Panorama de la energía en el mundo**
- **Ingeniería verde**
- **Uso de energía en la industria**
- **Uso eficiente de energía en la industria**
- **Conclusiones**

**Nuestro modo de vida está basado en la energía.  
A medida que incrementamos nuestro nivel de vida  
(desarrollo) consumimos más energía.**

- ⇒ Nuestras actividades y consumo provocan emisiones indeseables al ambiente**
- ⇒ El consumo de energía tiene repercusiones ambientales importantes.**

**¿Podremos continuar nuestro desarrollo como sociedad si seguimos actuando como lo hacemos hoy?  NO**

# Qué tenemos que hacer

- Contribuir a la reducción de emisiones nocivas (gases de efecto invernadero)
- Reducir el consumo de energía implica reducir las emisiones de gases con efecto invernadero
- Medidas de ahorro y uso eficiente de energía son indispensables para reducir el consumo de energía
- Modificaciones a los procesos de manufactura son necesarias para reducir las emisiones indeseables

# Qué tenemos que hacer

- Efectuar auditorías energéticas integrales
- Establecer un plan integral de ahorro de energía
- Establecer metas de ahorro de energía
- No desperdiciar la energía
- Evitar el uso innecesario de energía
- Modificar o desarrollar procesos que consuman menos energía y produzcan menos emisiones indeseables

**La ingeniería provee de herramientas para analizar el consumo de energía en procesos y la generación de emisiones nocivas y proponer modificaciones y mejoras que los reduzcan**

# Qué tenemos que hacer

**Estar conscientes que en todas las actividades que desarrollamos**

**consumimos energía, contribuimos al calentamiento global y a la emisión de sustancias nocivas**

**⇒ Debemos modificar nuestros hábitos y modo de vida**

# Gracias por su atención !

Dr. Enrique Bazúa Rueda  
Facultad de Química, UNAM

[erbr@unam.mx](mailto:erbr@unam.mx)