



# Recursos naturales, energía y economía

**Alicia Valero y Antonio Valero**

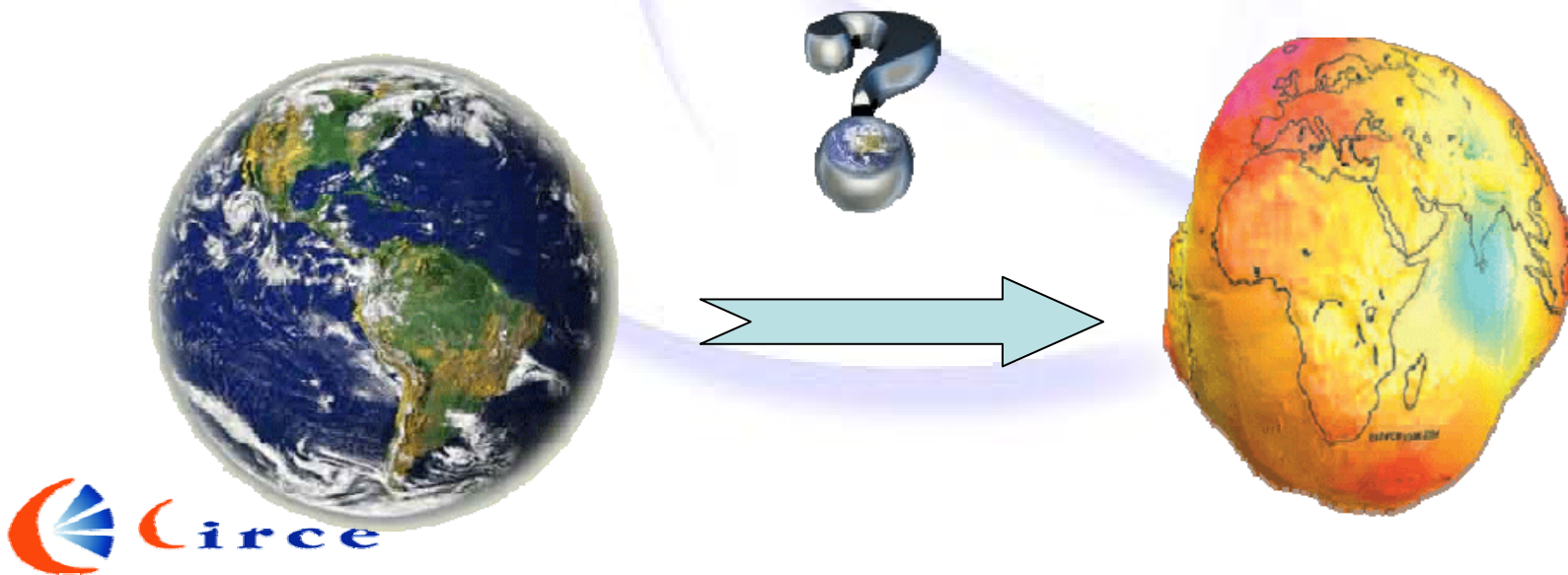
**20 septiembre, 2011  
Curso límites del crecimiento  
Valladolid**

**Centro de Investigación de Recursos y  
Consumos Energéticos**

## INTRODUCCIÓN

### La cuestión determinante...

¿Cómo de rápido estamos degrandando el capital mineral de la Tierra?



## INTRODUCCIÓN

- s. XX marcado por grandes innovaciones tecnológicas =>
  - Consumo de enormes cantidades de minerales.
  - Hizo florecer muchas economías.
  - Aumentaron las preocupaciones sobre escasez mineral (especialmente fósil).
  - Aparecieron importantes estudios en los años 70.
- ¿Escasez de minerales provocará los límites del crecimiento? 2 corrientes de pensamiento....

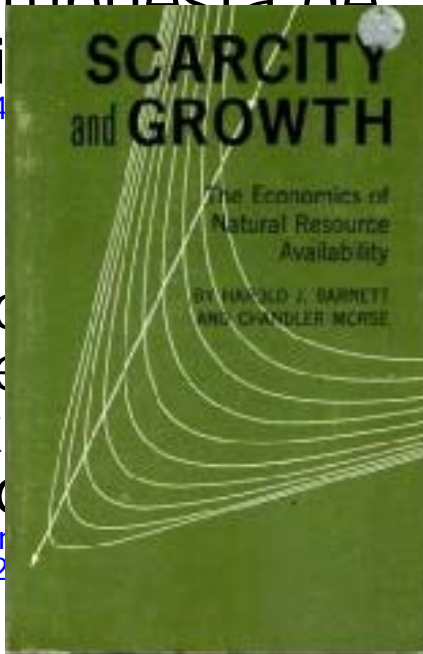


# INTRODUCCIÓN

## 2 libros de referencia

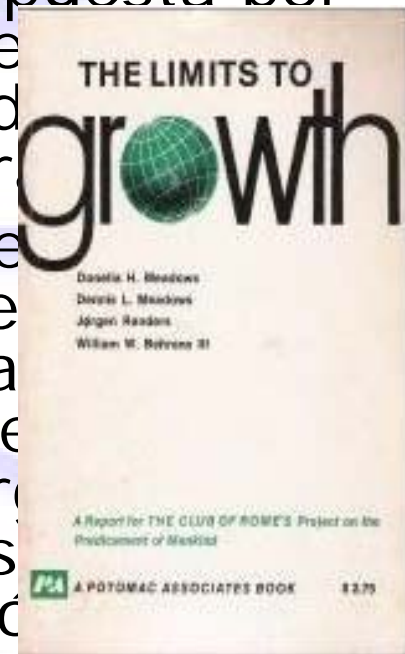
### NO!

- Toda la corteza está compuesta de minerales (Barnett and Andrews 1974).
- El crecimiento tecnológico excede los recursos (Barnett and Pearce 1992).



### SI!

- La corteza está compuesta por minerales que pueden ser utilizados para la producción (Meadows et al. 1974).
- La tecnología no puede superar los límites de la corteza. El crecimiento sostenido requiere energía y los recursos naturales (Daly 1992, Ayres and Nair 1984, Cleveland and Ruth 1997).



## INTRODUCCIÓN

### NO!

- La sustitución de minerales permitirá solucionar los límites.  
(Solow 1974...).
- La evidencia hasta hace poco soporta esta idea.

### SI!

- La sustitución de minerales fallará en el largo plazo cuando exista escasez en todos los minerales. (Chapman and Roberts 1983).
- Desde 2008 se han experimentado incrementos agudos en los precios de muchos minerales.

## INTRODUCCIÓN

- En la actualidad no hay una respuesta clara, pero prestemos atención a:
  - **Rápido desarrollo de Asia.**
  - **Avance de las nuevas tecnologías: energías renovables, coche eléctrico, móviles, etc.**
- Nuestra sociedad está basada en un uso ineficiente de la energía y de los materiales ya que no hay concienciación del límite.
- Si los recursos son limitados, debemos gestionarlos eficientemente.
- Debemos conocer cuántos recursos hay disponibles y cómo los estamos consumiendo.

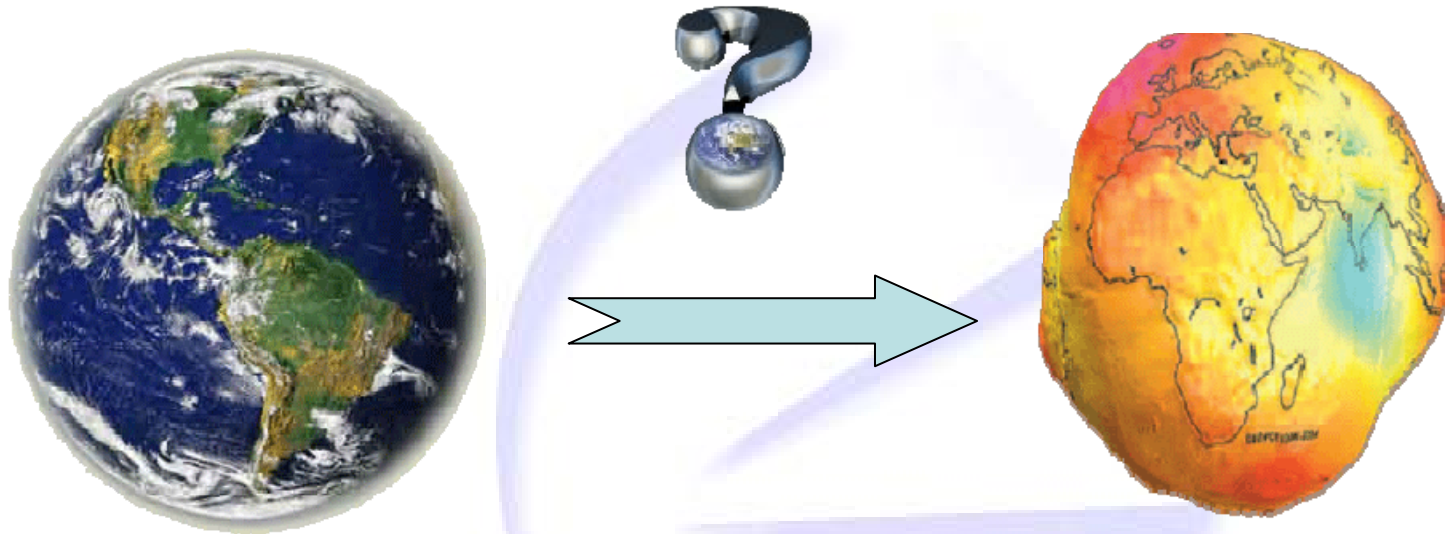
## LA TEORÍA THANATIA

- En contraposición con la teoría de Lovelock **GAIA** como un planeta vivo



- La tierra crepuscular=THANATIA=Planeta muerto

## LA TEORÍA THANATIA



- Consecuencia de la segunda Ley de la Termodinámica: La Tierra se aproxima gradualmente a un planeta degradado.
- Conociendo el planeta crepuscular, podemos visualizar por primera vez y cuantificar el límite termodinámico de la Tierra, evaluando su capital mineral y su velocidad de degradación.



## LA TEORÍA THANATIA

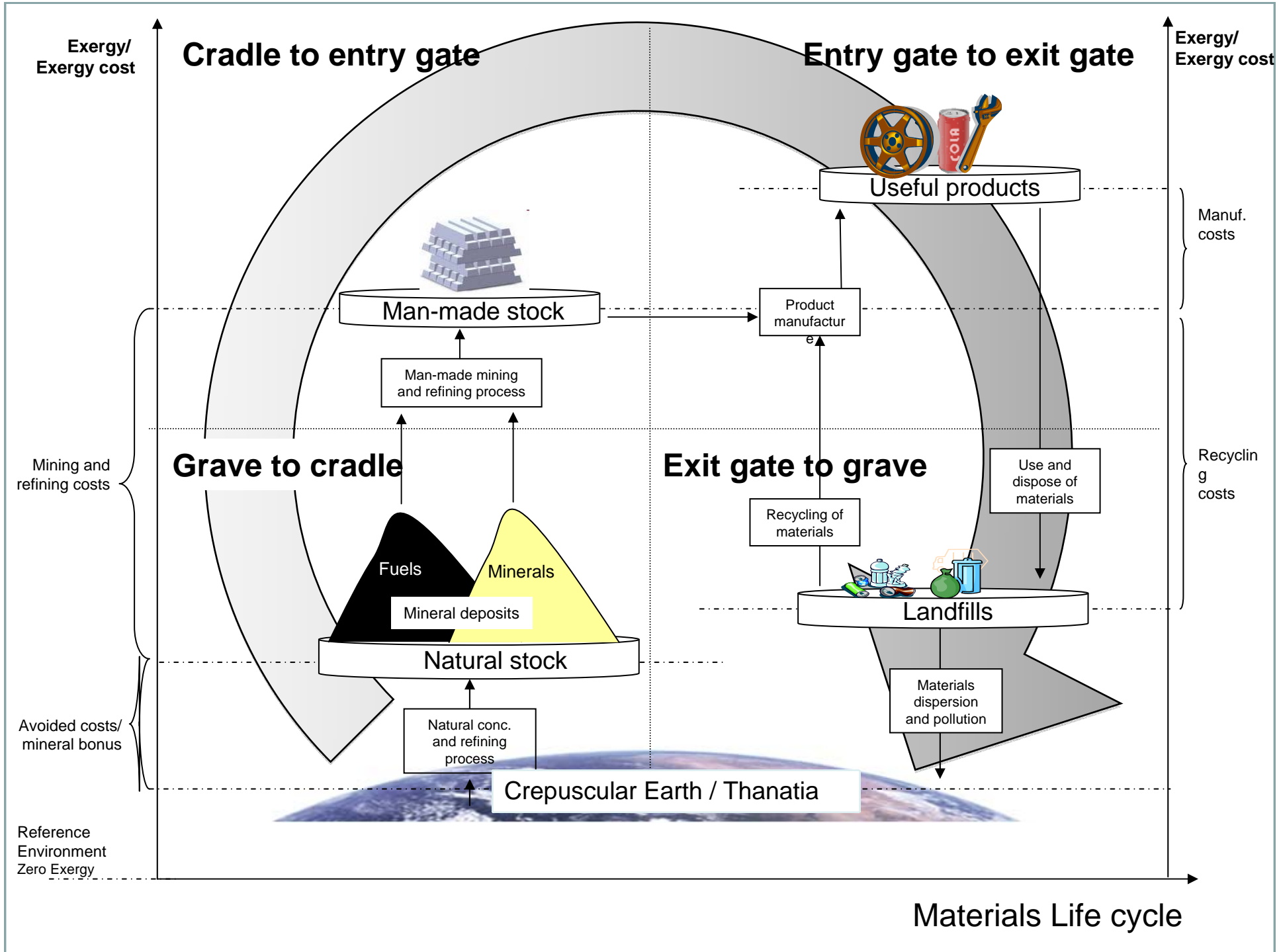
- Un depósito mineral es una rareza en la corteza terrestre.
- Una mina ocurre sólo cuando se combinan complejos procesos naturales para producir un enriquecimiento.
- Estos procesos operan muy lentamente si lo comparamos con la vida del ser humano.



## LA TEORÍA THANATIA

- ¿Cómo evaluar el capital mineral?
  - Cambiemos la perspectiva:  
“Desde la cuna hasta la tumba”
  - A:  
“Desde la tumba hasta la cuna”

**Exergoecología: evaluación exergética del capital natural de la Tierra con Thanatia como punto de partida**



## ¿Por qué el análisis exergético?

- La exergía de un sistema mide la distancia respecto del ambiente => calidad.
- Todos los materiales tienen un contenido exergético definible y calculable respecto del ambiente de referencia.
- Exergía: máximo trabajo que puede realizar un sistema al llevar al recurso al equilibrio con su entorno a través de una secuencia de procesos reversibles.

# La exergía



VS



JGarcía 2003

# La exergía



VS



# La exergía



VS



## ¿Por qué el análisis exergético?

- La evaluación económica de los recursos raramente tiene en cuenta las características físicas que hacen valioso un mineral: composición y concentración (la escasez aumenta pero no los precios!)
- Las evaluaciones físicas en términos másicos o de concentración (ley de mina) no permite hacer comparaciones entre minerales.
- Pero pueden ser evaluados desde un punto de vista termodinámico con una sólo propiedad: la exergía.



## ¿Por qué el análisis exerгético?

### Ventajas

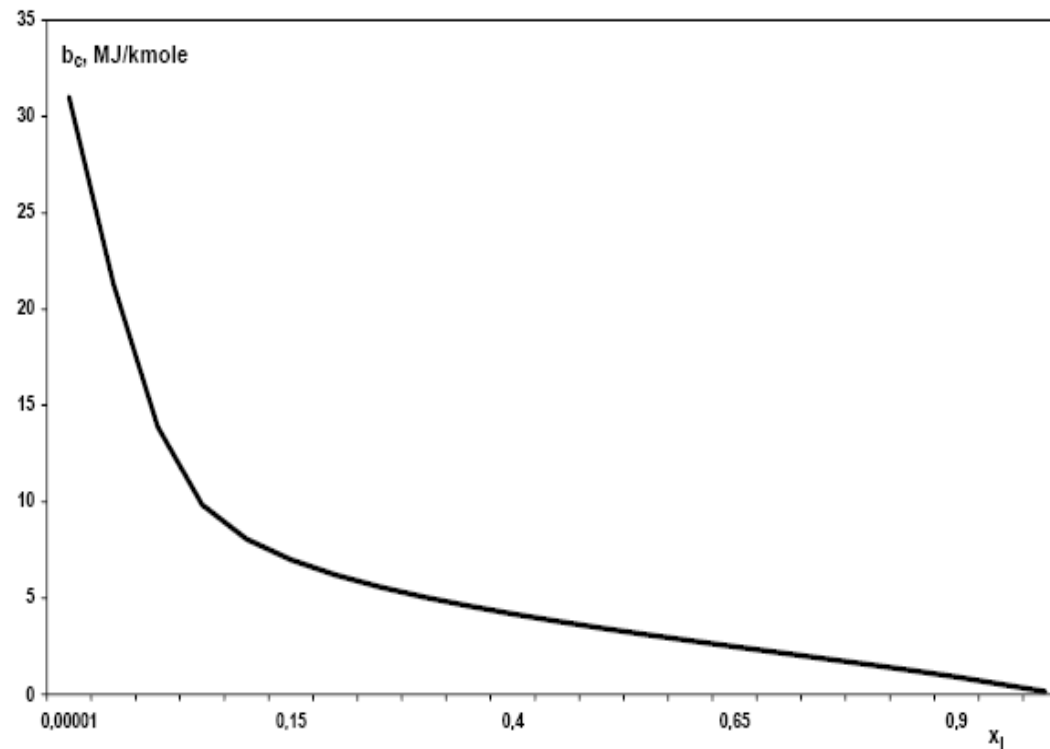
- Objetivo
- Transparente
- Capacidad de agregación/desagregación
- Medidas universales: unidades energéticas
- Transformable a unidades monetarias a través de precios de la energía.
- Es una propiedad, más que un indicador

"The entropy law itself emerges as the most economic in nature of all natural laws [...] and this law is the basis of the economy of life at all levels"

Georgescu-Roegen. *The Entropy Law and the Economic Process* 1971

# EXERGOECOLOGÍA

## La exergía de un depósito mineral

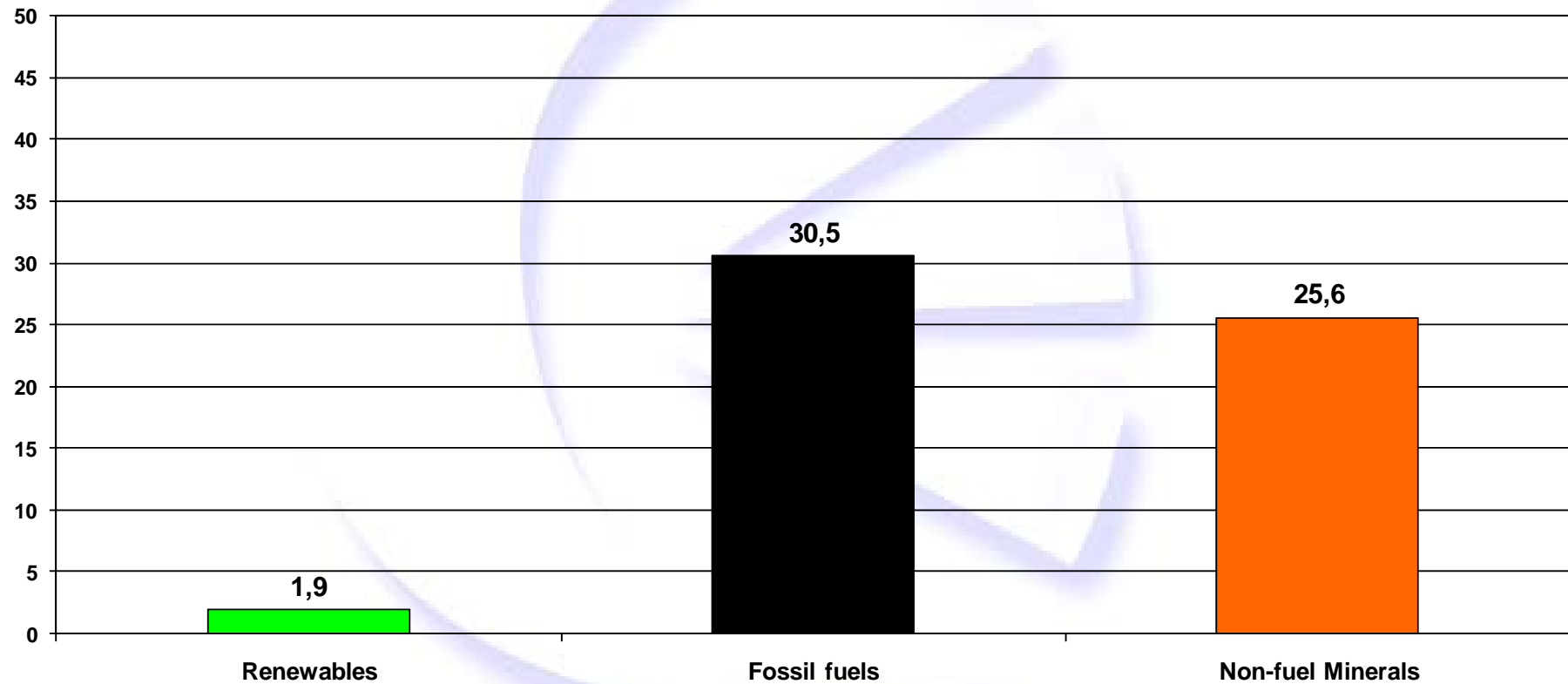


## EXERGOECOLOGÍA

- Tres ingredientes para evaluar la evolución exérgica del capital mineral a lo largo de la historia:
  - Evolución de la producción
  - Reservas.
  - Evolución de las leyes de mina.
- Estadísticas mineras del BGS y USGS

# EXERGOECOLOGÍA

% Potential of renewables in use; % depletion degree of minerals



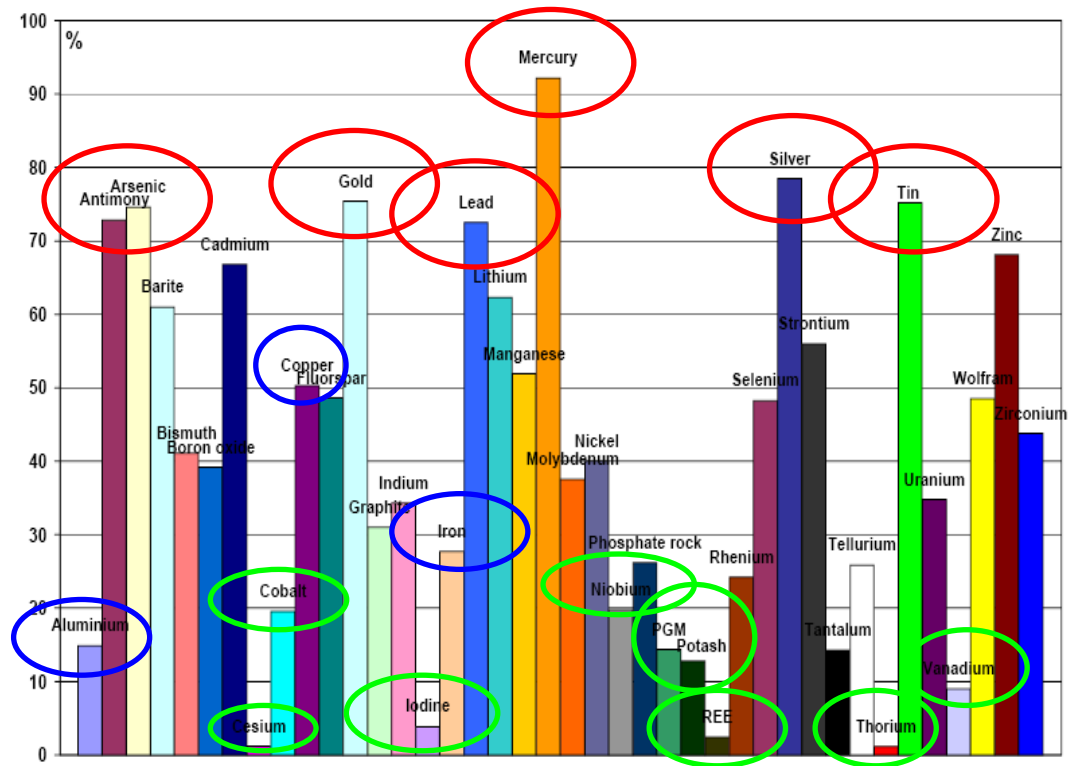
## EXERGOECOLOGÍA

- No existe **escasez de energía!**
- Existe un enorme **potencial** en el uso de las **energías renovables.**

# EXERGOECOLOGÍA

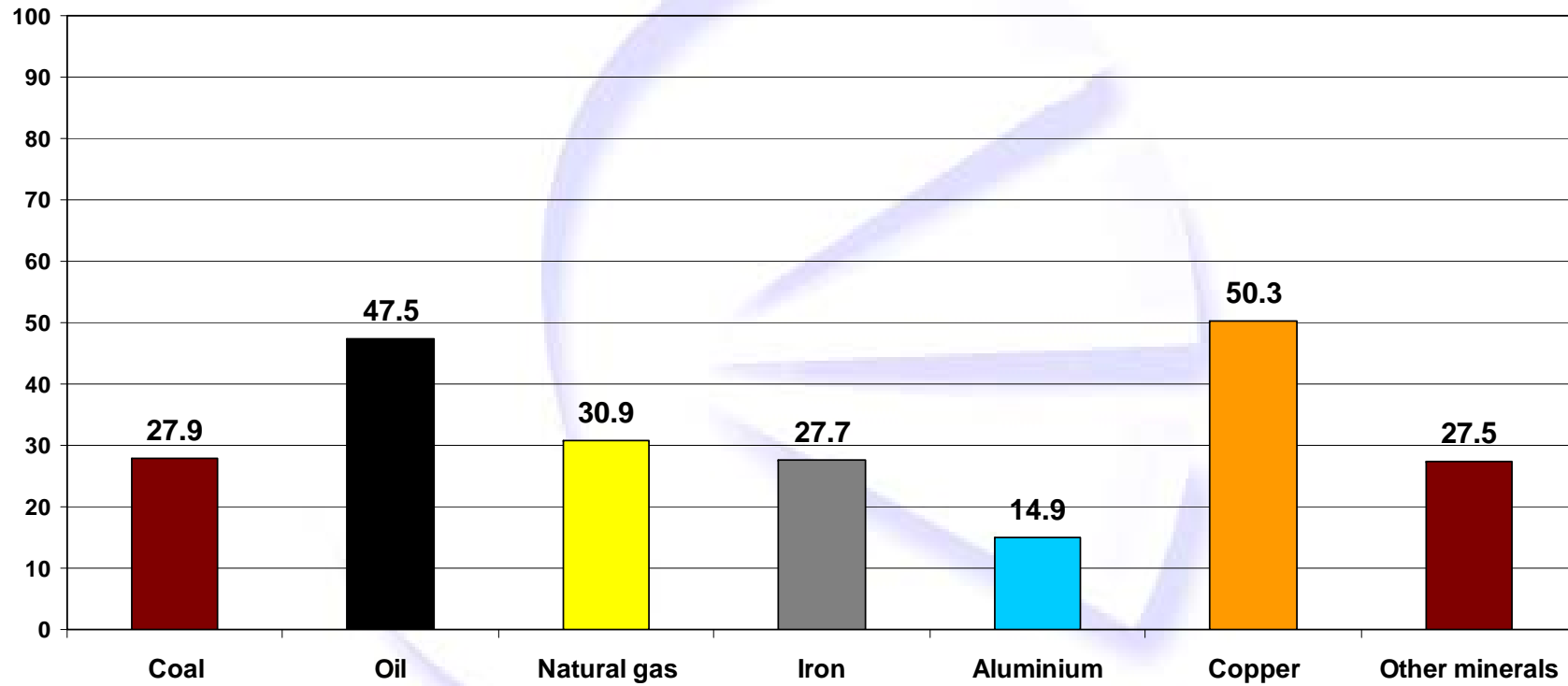
## Minerales no energéticos

- Más agotados: Hg (92%); Ag (79%); Au (75%); Sn (75%), As (75%); Pb (72%); Sb (72%).
- Menos agotados: Cs, Th, REE, I, V, K, PGM, Al, Ta, Co, Nb (<20%)
- Minerales importantes: Fe (28%); Al (15%); Cu (50%).



# EXERGOECOLOGÍA

Fuel and non-fuel minerals: depletion degree of reserves%

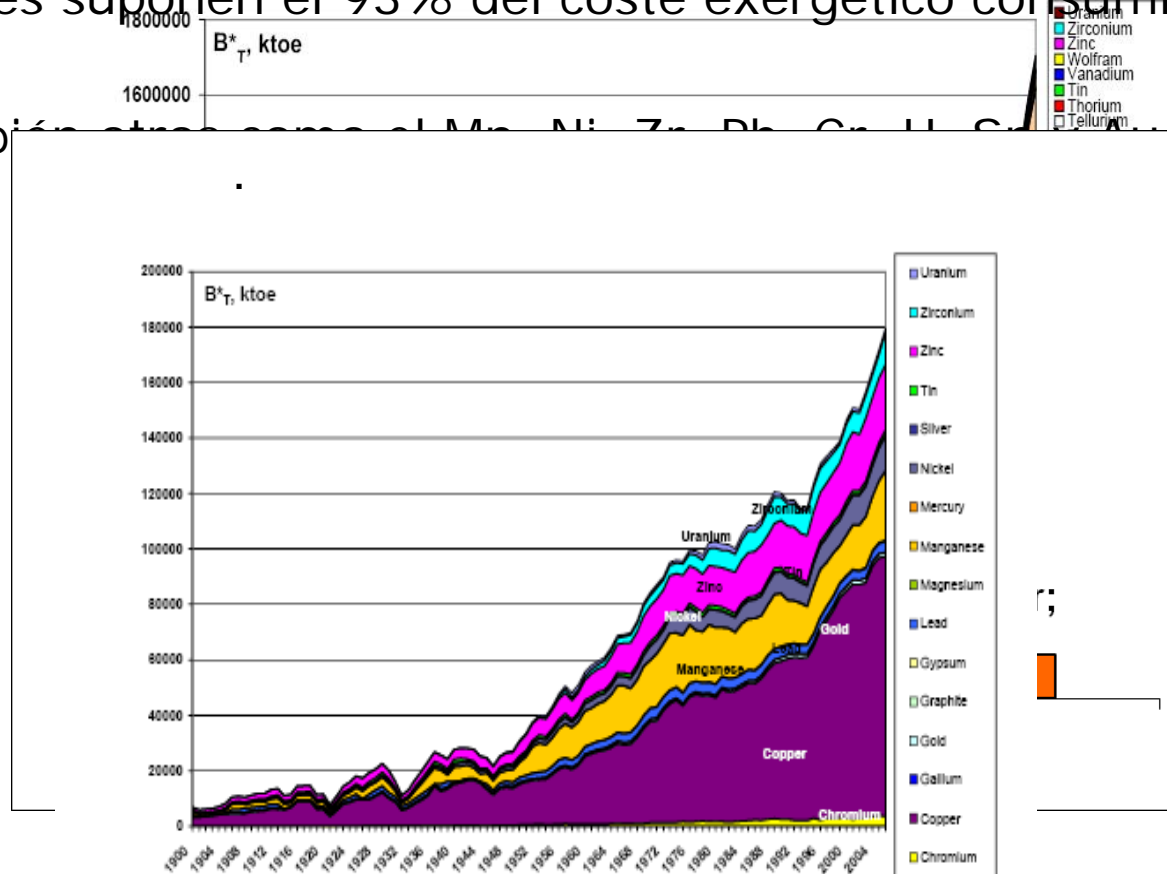


# EXERGOECOLOGÍA

## Minerales no energéticos

- 3 minerales suponen el 93% del coste exergético consumido.

- Pero también otros como el Mo, Ni, Zn, Pb, Cu, H, S, etc.

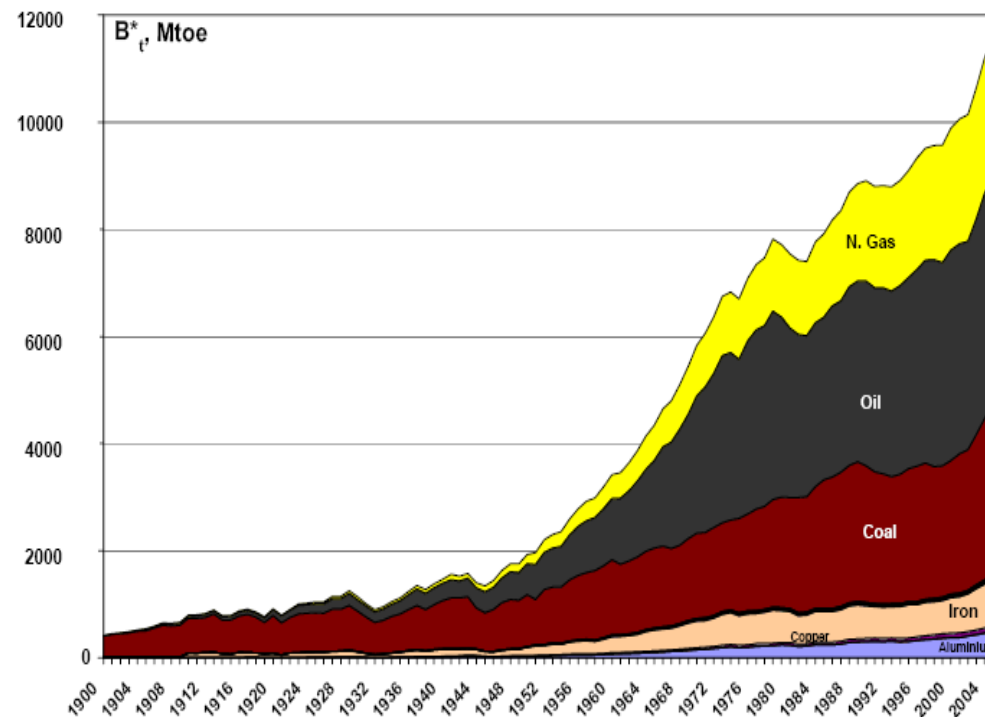




# EXERGOECOLOGÍA

## Minerales energéticos

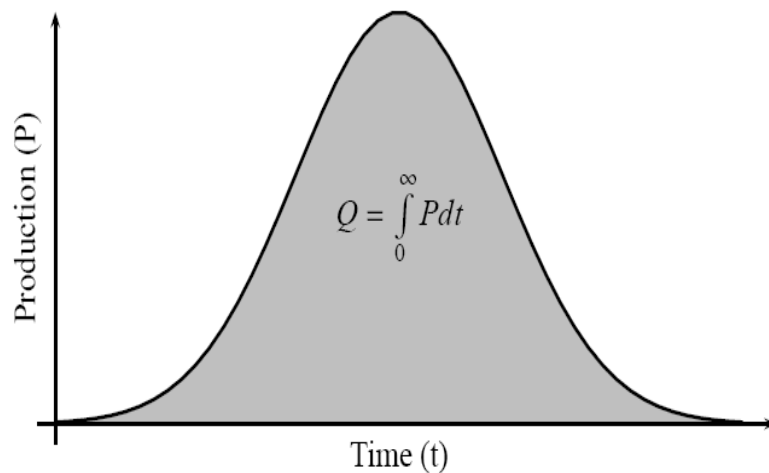
Mineral	1900-2006		1996-2006	2006		
	$D$ , Mtoe	$\dot{D}$ , Mtoe/yr	$\dot{D}$ , Mtoe/yr	% R. loss	R/P, yrs	Year of the Peak
Coal	1,45E+05	1,37E+03	2,73E+03	27,9	156	2060
Oil	1,61E+05	1,50E+03	3,96E+03	47,5	42	2008
Natural gas	7,60E+04	1,74E+03	2,34E+03	30,9	63	2023
SUM	3,82E+05	4,61E+03	9,03E+03	30,5	114	2029



## EXERGOECOLOGÍA

- **Escasez de minerales concentrados** (de origen fósil y no fósil).
- Hay demasiados pocos estudios e información sobre el tema.

## PICO DE HUBBERT



Q=recursos disponibles  
P=extracción de minerales

- La producción de combustibles fósiles sigue curvas tipo campana (Hubbert 1956).
- Se aplica satisfactoriamente a minerales cuyo factor de concentración no es importante (comb. Fósiles).
- Se puede ajustar a otros minerales en términos exergéticos **exergía** -> **depende de la concentración y composición**

# EXERGOECOLOGÍA

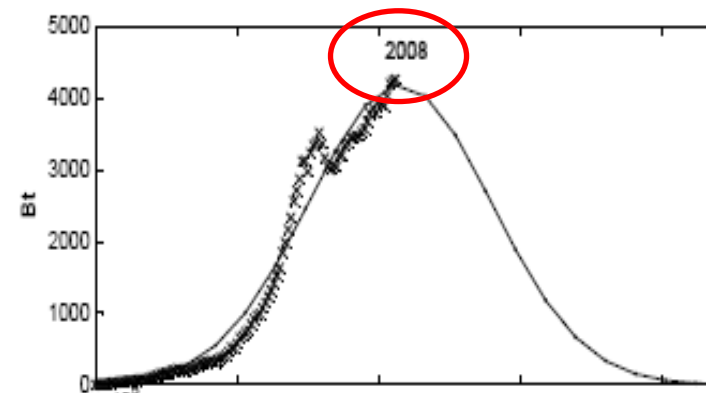
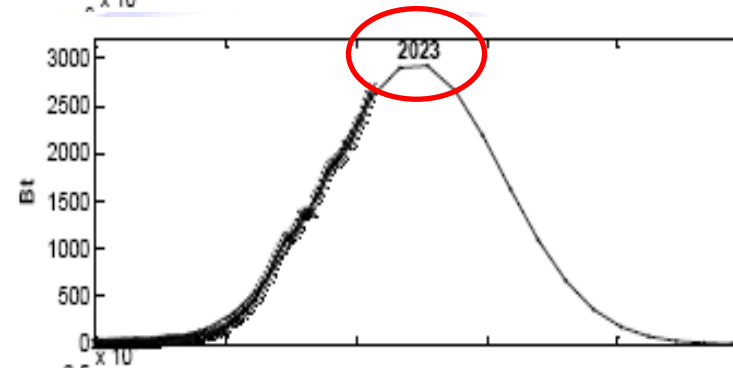
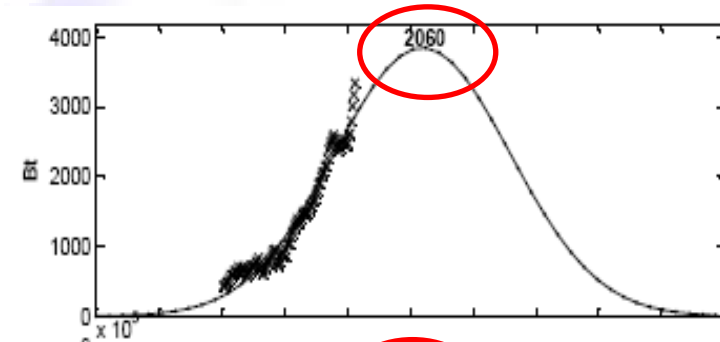
## Minerales energéticos.

### El pico de Hubbert

Considerando reservas probadas

- Carbón: 2060; otros estudios: EWG 2007 (2025).
- Gas natural: 2023; Otros estudios: Bentley (2020).
- Petróleo: 2008; otros estudios: Hatfield (1997), Kerr (1998) o Campbell and Laherrere (1998)

Values in Mtoe

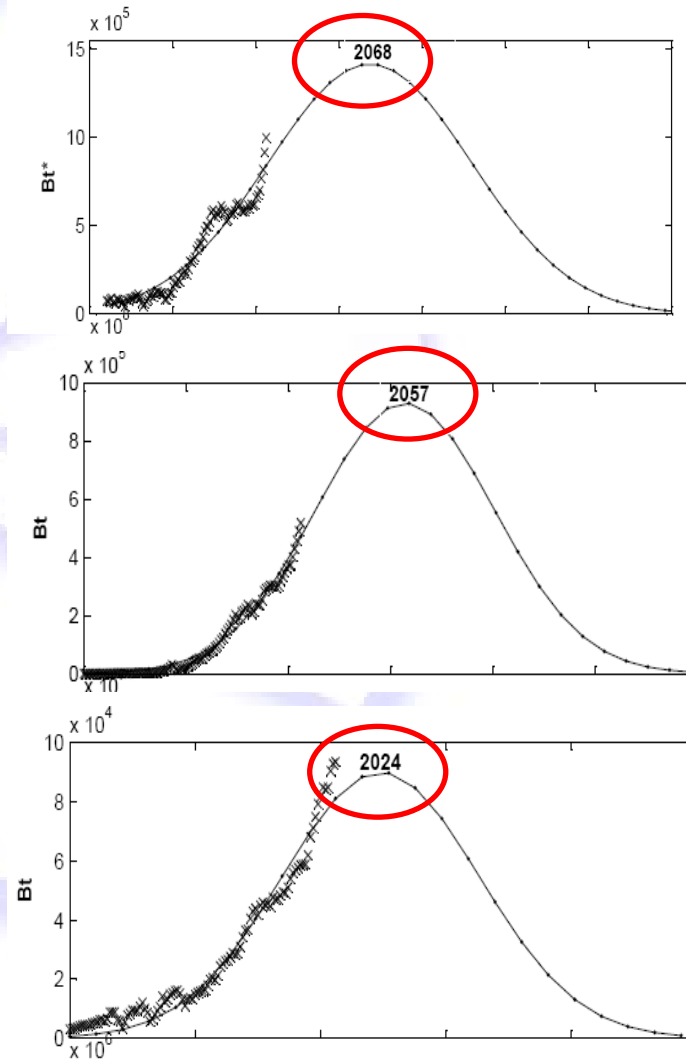


# EXERGOECOLOGÍA

## Minerales no energéticos. El pico de Hubbert

Considerando las reservas base

- Fe: 2068
- Al: 2057
- Cu: 2024

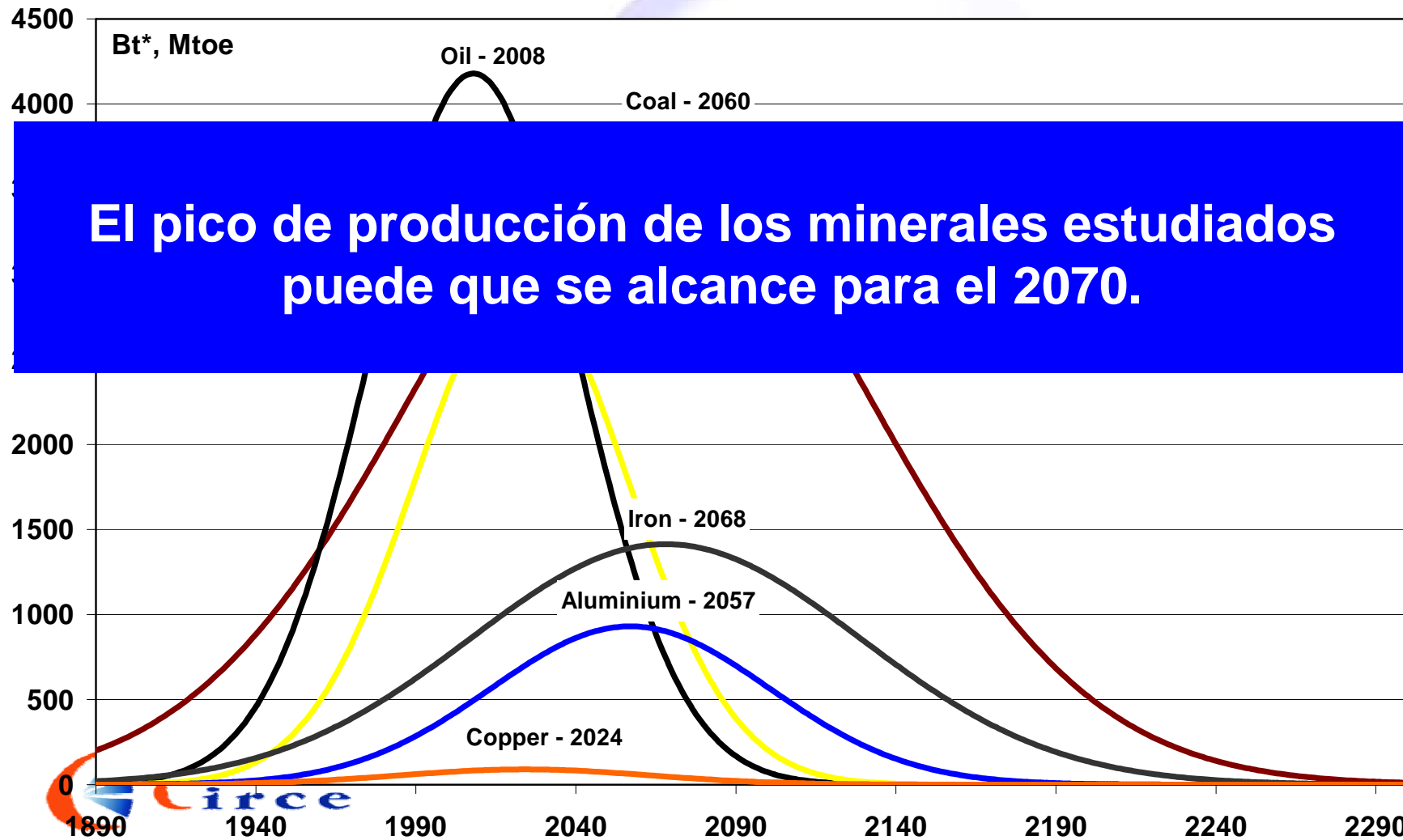


## EXERGOECOLOGÍA

- El precio de los recursos depende de muchos factores, como la demanda, aspectos sociales y políticos, especulación...
- Pero el **factor limitante** que determine la tendencia general será la **disponibilidad** del recurso.
- Si la demanda continua aumentando y no se encuentran depósitos minerales importantes, el precio de las materias primas (ej. Petróleo) aumentará en el futuro.

# EXERGOECOLOGÍA

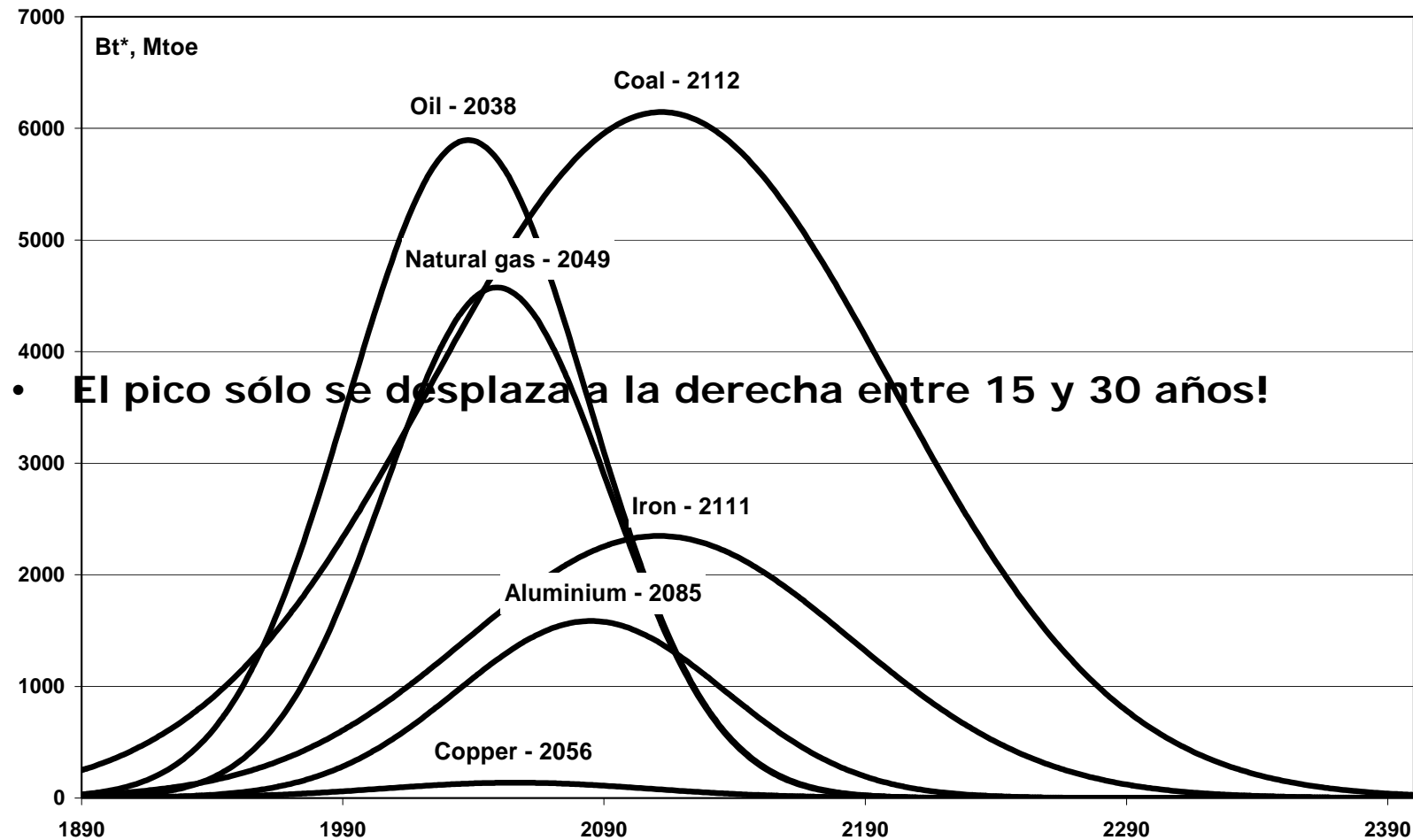
## CUENTA ATRÁS EXERGÉTICA DE LOS MINERALES



# EXERGOECOLOGÍA

## La cuenta atrás exergética

El mismo análisis considerando 2 x reservas probadas (combustibles fósiles) y 2 x reservas base (minerales)





## REFLEXIONES

- Existen muchos lugares en el mundo sin explorar. Sin embargo, estos resultados preliminares demuestran que **la tasa de extracción mineral en un siglo ha sido excesiva** => La tasa de descubrimiento puede que no compense el aumento exponencial.
- Muchos minerales están sufriendo problemas de escasez. La sustitución puede ayudar siempre y cuando haya recursos alternativos disponibles.
- Escenarios de consumo futuro como los del IPCC están asumiendo tasas de consumo que exceden las reservas minerales actuales. Hay preocupación sobre cambio climático, pérdida de biodiversidad, etc. pero ¿Y la escasez de recursos?
- La extracción de minerales cada vez más escasos provoca importantes problemas ambientales: consumo de cantidades ingentes de agua, energía, ganga... Pero también problemas sociales!

## CONCLUSIONES

**Es necesaria una limitación drástica en la extracción de recursos minerales.=> Hay que potenciar el reciclado y nuevos diseños para desensamblar.**



**GRACIAS POR VUESTRA  
ATENCIÓN**

