



LA CRISIS DE LAS TIERRAS RARAS



Enrique Montero
Universidad de Cádiz

CONAMA2014

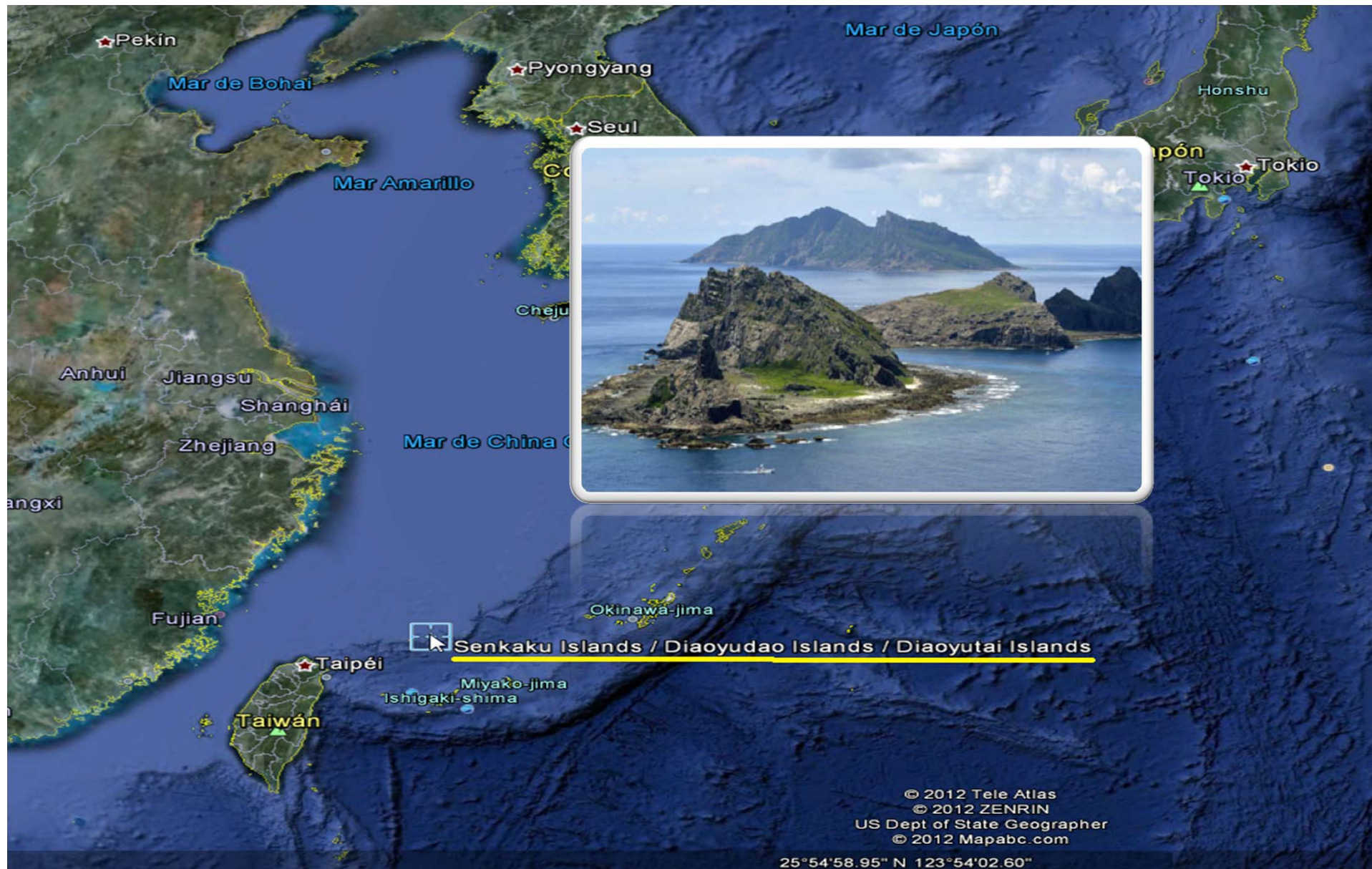
2010



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



Cátedra
RELEC
Universidad de Cádiz

Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

2010, Oct 19

The New York Times

Global Business WITH REUTERS

WORLD U.S. N.Y. / REGION BUSINESS TECHNOLOGY SCIENCE HEALTH SPORTS

Search Global DealBook Markets Economy Energy

China Said to Widen Its Embargo of Minerals

By KEITH BRADSHER
Published: October 19, 2010

HONG KONG — China, which has been blocking shipments of crucial minerals to Japan for the last month, has now quietly halted some shipments of those materials to the United States and Europe, three industry officials said this week.



Enlarge This Image

Reuters

A rare earth mine in China, which this week announced that it would cut its annual export quota for rare earths in 2011.

The Chinese action, involving rare earth minerals that are crucial to manufacturing many advanced products, seems certain to further intensify already rising trade and currency tensions with the West. Until recently, China typically sought quick and quiet accommodations on trade issues. But the interruption in rare earth supplies is the latest sign from Beijing that Chinese leaders are willing to use their growing economic muscle.



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

01

¿Qué son las tierras raras?



¿Qué son las *tierras raras*?

Rare Earth Elements
by Geology.com

Metales tierras raras No lantánidos

Metales tierras raras Lantánidos

H	Rare Earth Elements																He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Actinides															
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
		Actinides															
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

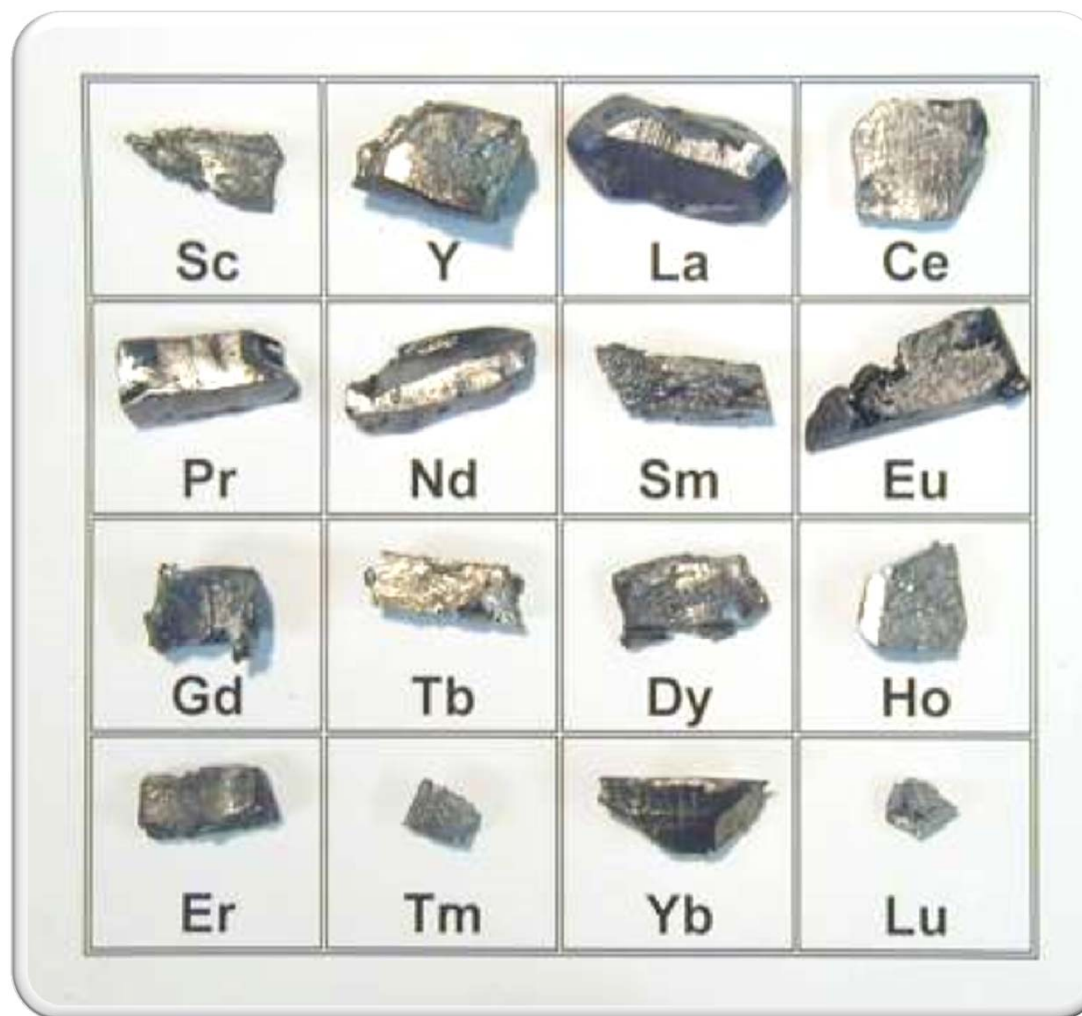


CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

No son “*tierras*”

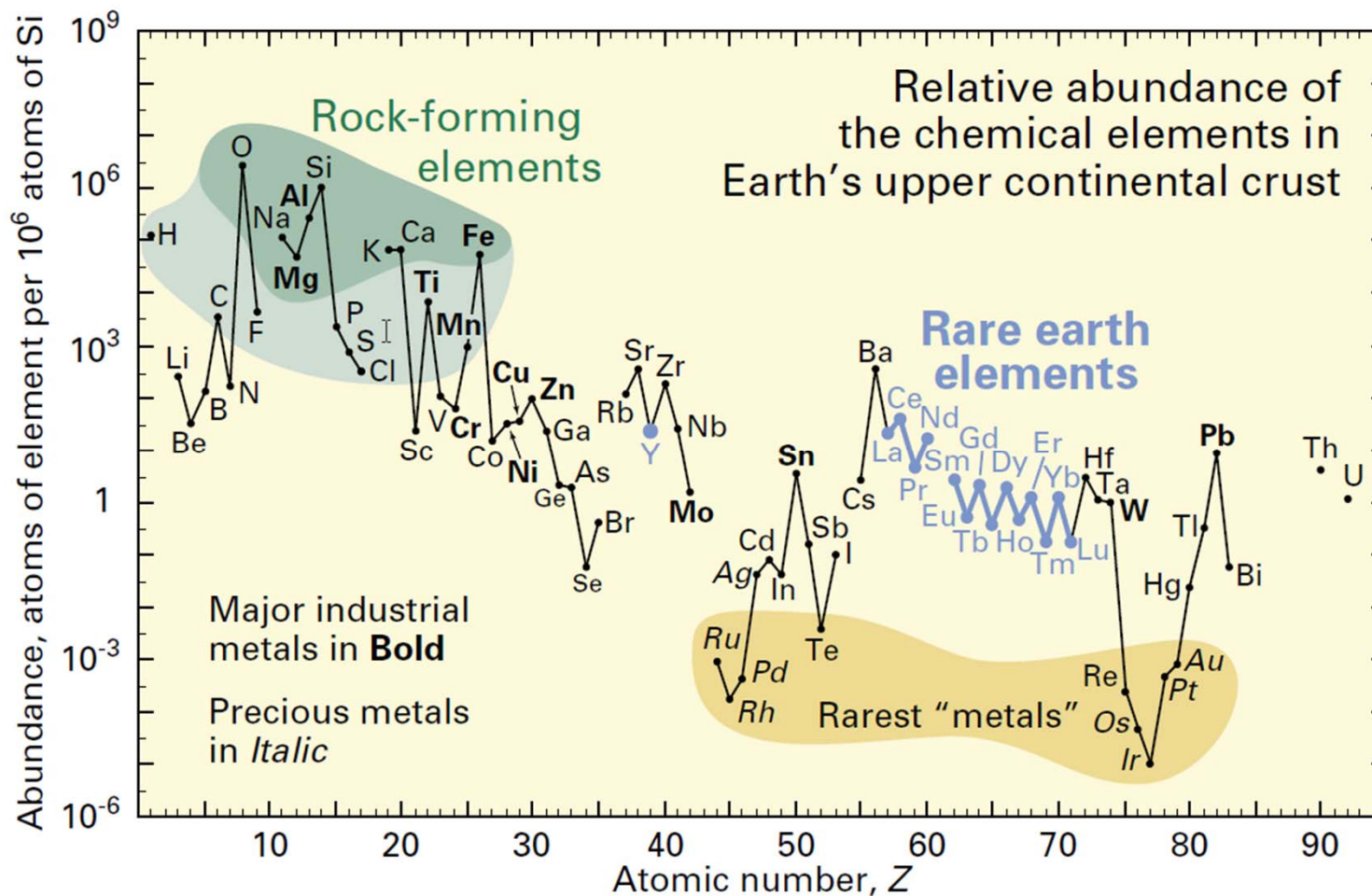


CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

No son “*raras*” (en la corteza terrestre)



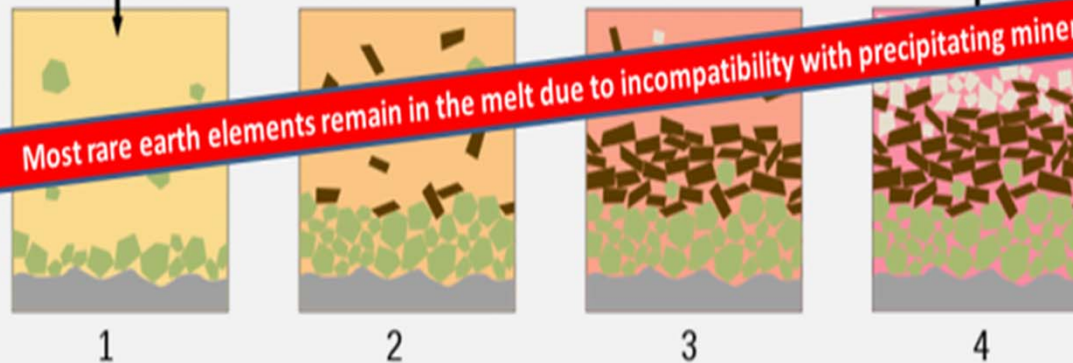
CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

REEs During Fractional Crystallization

Lower REE concentration. **Magma is REE enriched.** Higher REE concentration.



1200°C

600°C

Cooling

Rare earth element sorting by 'exclusion;' they literally won't fit in the crystal lattice of the forming minerals.

(Fuente: Rare Earth Elements - A key to understanding geological sorting processes in the solar system)



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

02

¿Qué
aplicaciones
tienen?



¿Qué aplicaciones tienen las tierras raras?

En el pasado se utilizaban en...



CONAMA2014



Cátedra
RELEC
Universidad de Cádiz

Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

¿Qué aplicaciones tienen las tierras raras?

En la actualidad...

Por sus destacadas propiedades...

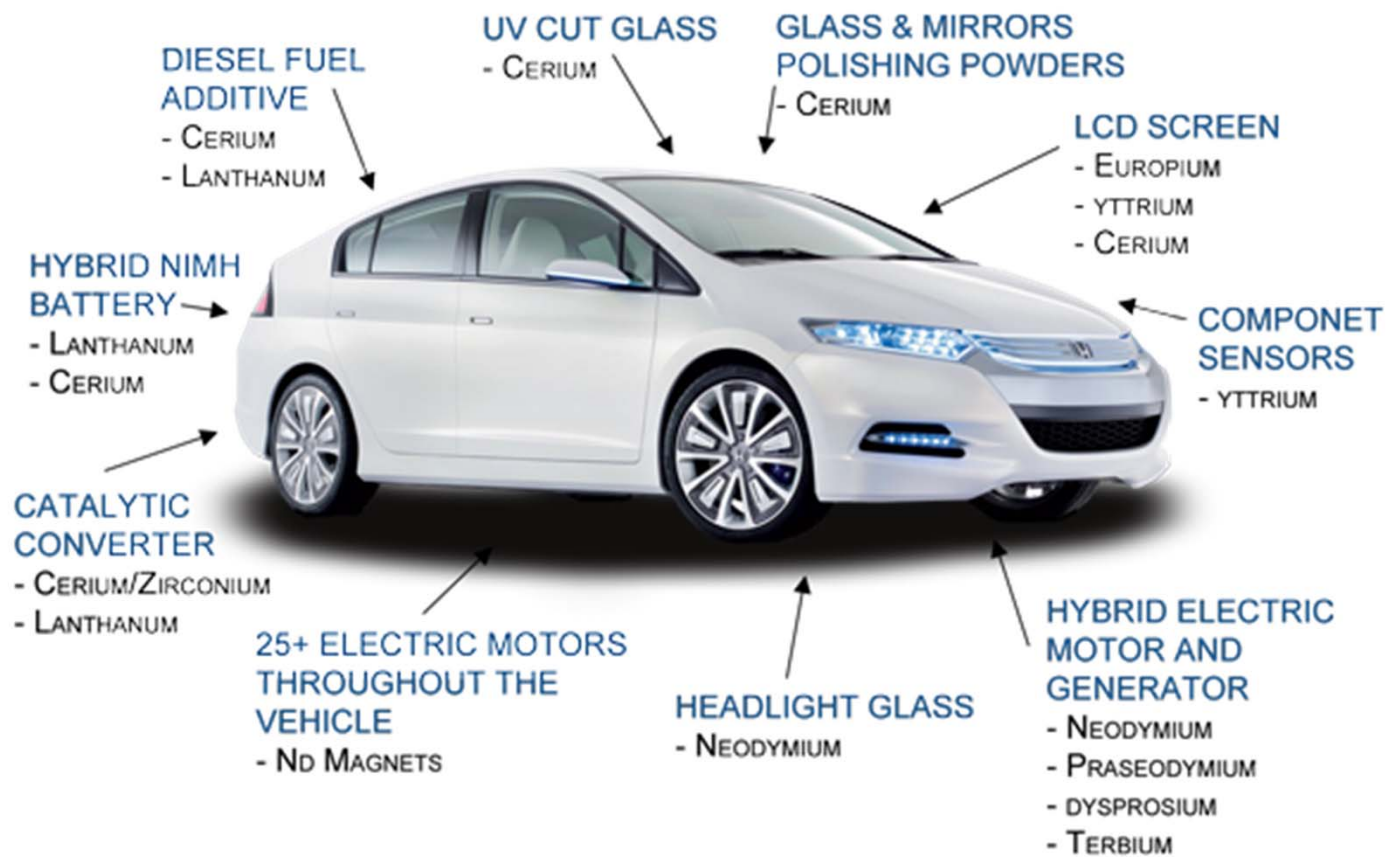
- Químicas
- Magnéticas
- Ópticas
- Catalíticas
- Eléctricas
- Metalúrgicas



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



Cátedra
RELEC
Universidad de Cádiz

Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



365,77 nm



CONAMA2014



Cátedra
RELEC
Universidad de Cádiz

Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

03

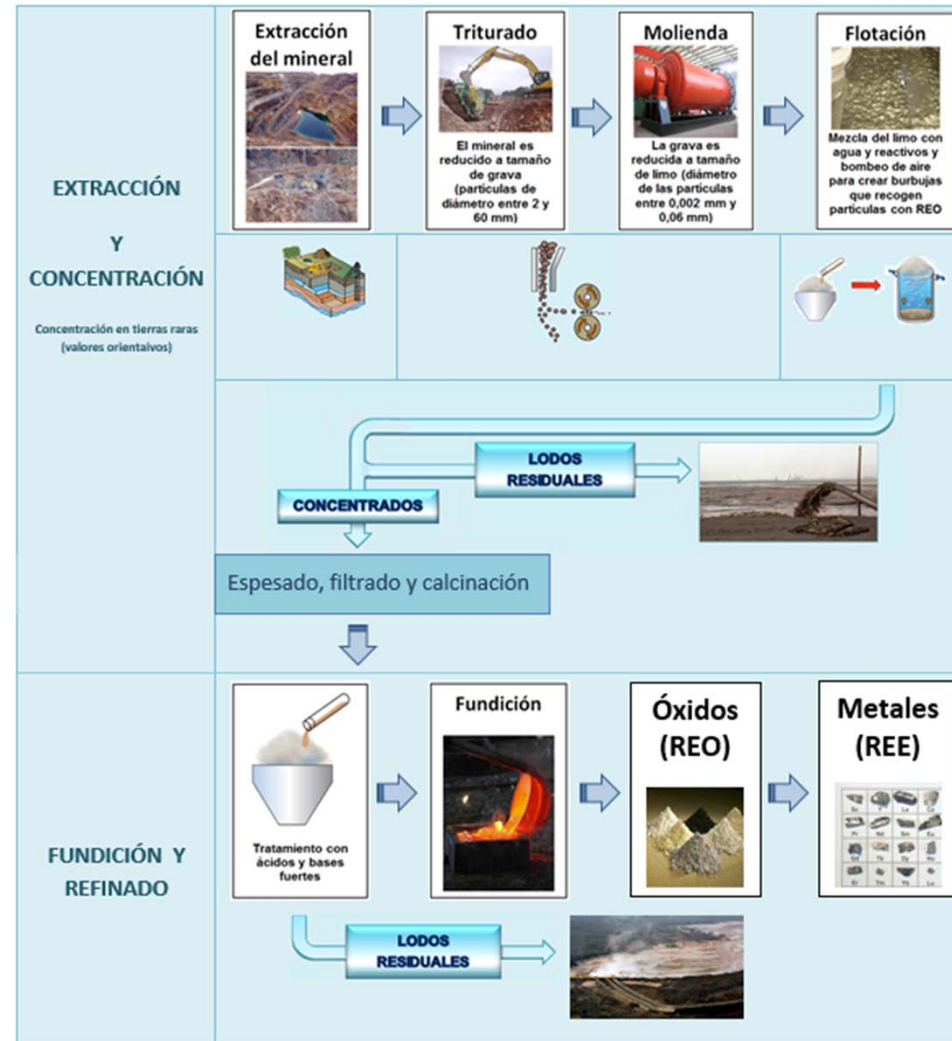
¿Cuál es su
impacto
ambiental?



La paradoja de las tierras raras: «minerales sucios» para «tecnologías limpias»

Las tierras raras no son «metales verdes» pese a que muchas de su aplicaciones son en «tecnologías verdes»

"Su refinado, una verdadera pesadilla"
(Christian Hocquard)



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

PRODUCIR



- De **9.600 a 12.000 metros cúbicos de gas residual** conteniendo polvo concentrado, ácido fluorhídrico, dióxido de azufre y ácido sulfúrico
- Aproximadamente **75.000 litros de agua residual ácida**
- Alrededor de **una tonelada de residuos radiactivos**



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



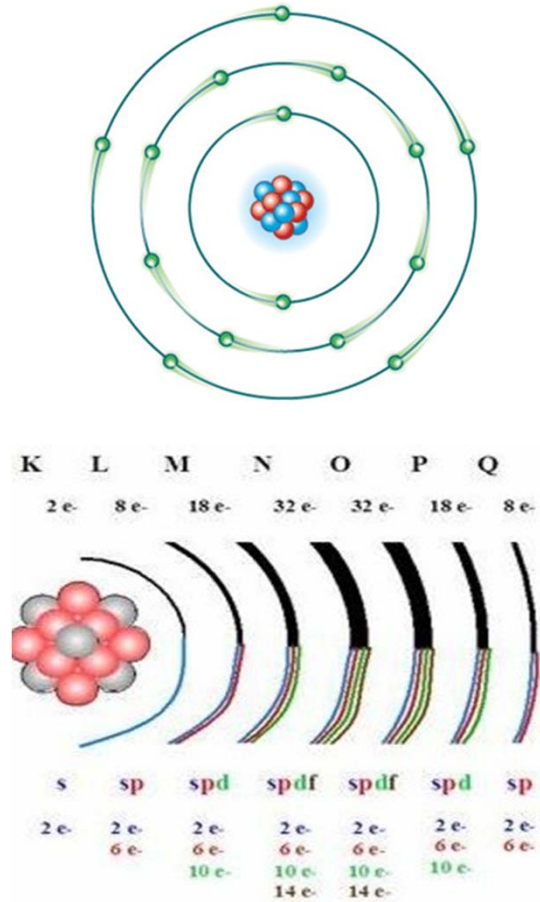
Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

04

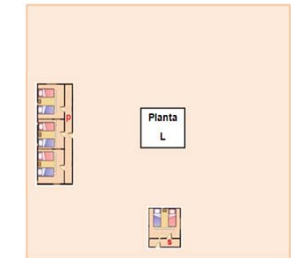
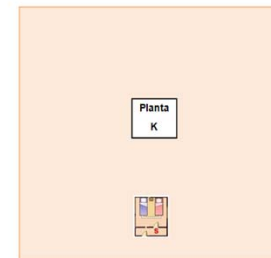
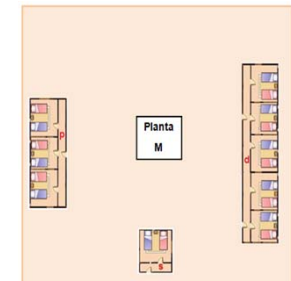
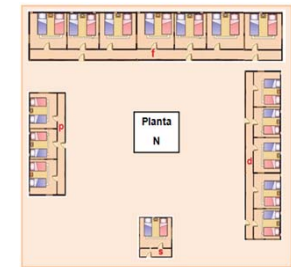
¿No se
pueden
sustituir?



¿No se pueden sustituir?



- Q S(2), p(6)
- P S(2), p(6), d(10), f(14), g(18), h(22)
- O S(2), p(6), d(10), f(14), g(18)
- N S(2), p(6), d(10), f(14)
- M S(2), p(6), d(10)
- L S(2), p(6)
- K S(2)



CONAMA2014



Enrique Montero
 Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

Números atómicos
31 - 36

31	Ga
32	Ge
33	As
34	Se
35	Br
36	Kr

Número atómico	Elemento	CAPA / ORBITAL							
		K	L		M			N	
31	Galio (Ga)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ¹
32	Germanio (Ge)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ²
33	Arsénico (As)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ³
34	Selenio (Se)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁴
35	Bromo (Br)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁵
36	Krypton (Kr)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶

ORBITALES MÁS EXTERNOS

ORBITALES 4f (más internos)

Prácticamente iguales para todos los lantánidos

Números atómicos
57 - 71

57	La
58	Ce
59	Pr
60	Nd
61	Pm
62	Sm
63	Eu
64	Gd
65	Tb
66	Dy
67	Ho
68	Er
69	Tm
70	Yb
71	Lu

Número atómico	Elemento	CAPA / ORBITAL															
		K	L		M			N				O		P			
21	Escandio (Sc)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹	4s ²									
39	Itrio (Y)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹					5s ²		
57	Lantano (La)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ⁰	5s ²	5p ⁶	5d ¹	-	6s ²	
58	Cerio (Ce)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ¹	5s ²	5p ⁶	5d ¹	-	6s ²	
59	Praseodimio (Pr)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ³	5s ²	5p ⁶	-	-	6s ²	
60	Neodimio (Nd)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ⁴	5s ²	5p ⁶	-	-	6s ²	
61	Promecio (Pm)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ⁵	5s ²	5p ⁶	-	-	6s ²	
62	Samario (Sm)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ⁶	5s ²	5p ⁶	-	-	6s ²	
63	Europio (Eu)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ⁷	5s ²	5p ⁶	-	-	6s ²	
64	Gadolinio (Gd)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ⁷	5s ²	5p ⁶	5d ¹	-	6s ²	
65	Terbio (Tb)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ⁹	5s ²	5p ⁶	-	-	6s ²	
66	Disprosio (Dy)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ¹⁰	5s ²	5p ⁶	-	-	6s ²	
67	Holmio (Ho)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ¹¹	5s ²	5p ⁶	-	-	6s ²	
68	Erbio (Er)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ¹²	5s ²	5p ⁶	-	-	6s ²	
69	Tulio (Tm)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ¹³	5s ²	5p ⁶	-	-	6s ²	
70	Iterbio (Yb)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ¹⁴	5s ²	5p ⁶	-	-	6s ²	
71	Lutecio (Lu)	1s ²	2s ²	2p ⁶	3s ²	3p ⁶	3d ¹⁰	4s ²	4p ⁶	4d ¹⁰	4f ¹⁴	5s ²	5p ⁶	5d ¹	-	6s ²	



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

Dos consecuencias importantes:

1. Del hecho de que sus capas externas sean idénticas: **es muy difícil separar unos elementos de otros.** (ocurre que los minerales de las tierras raras contienen muchos elementos conjuntamente, mezclados)



31 Ga Gallio 69,723	32 Ge Germanio 72,63	33 As Arsénico 74,9216	34 Se Selenio 78,96	35 Br Bromo 79,904	36 Kr Kriptón 83,798
------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	------------------------------	-----------------------------	-------------------------------



57 La Lantano	58 Ce Cerio	59 Pr Praseodimio	60 Nd Neodimio	61 Pm Prometio	62 Sm Samario	63 Eu Europio	64 Gd Gadolino	65 Tb Terbio	66 Dy Disprosio	67 Ho Holmio	68 Er Erbio	69 Tm Tulio	70 Yb Yterbio	71 Lu Lutecio
---------------------	-------------------	-------------------------	----------------------	----------------------	---------------------	---------------------	----------------------	--------------------	-----------------------	--------------------	-------------------	-------------------	---------------------	---------------------

2. Del hecho de que se ocupen primero las capas externas y solo después de ellos se vaya ocupando la capa 4f: **son únicos e insustituibles.**



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



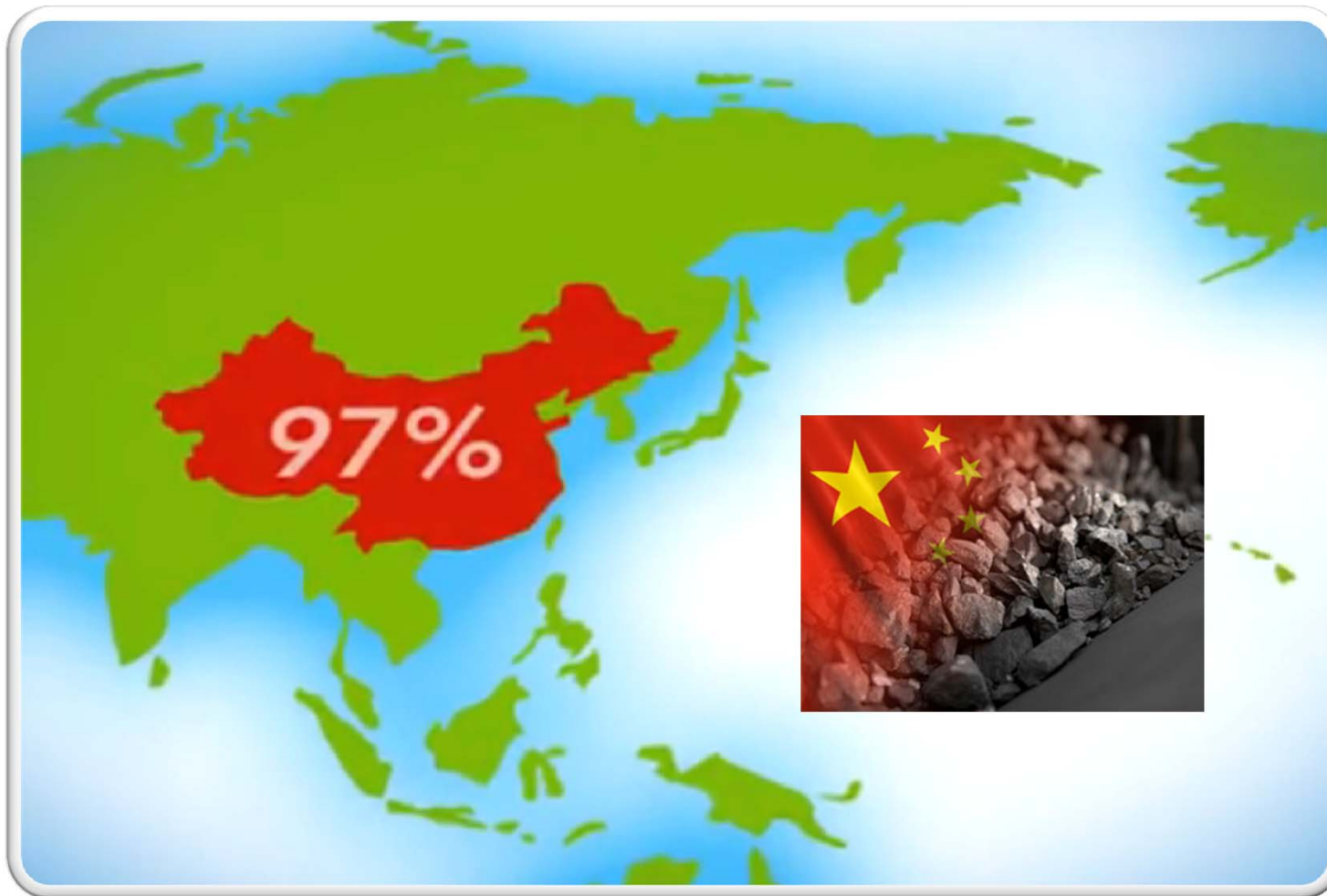
Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

05

¿Quién las
produce?



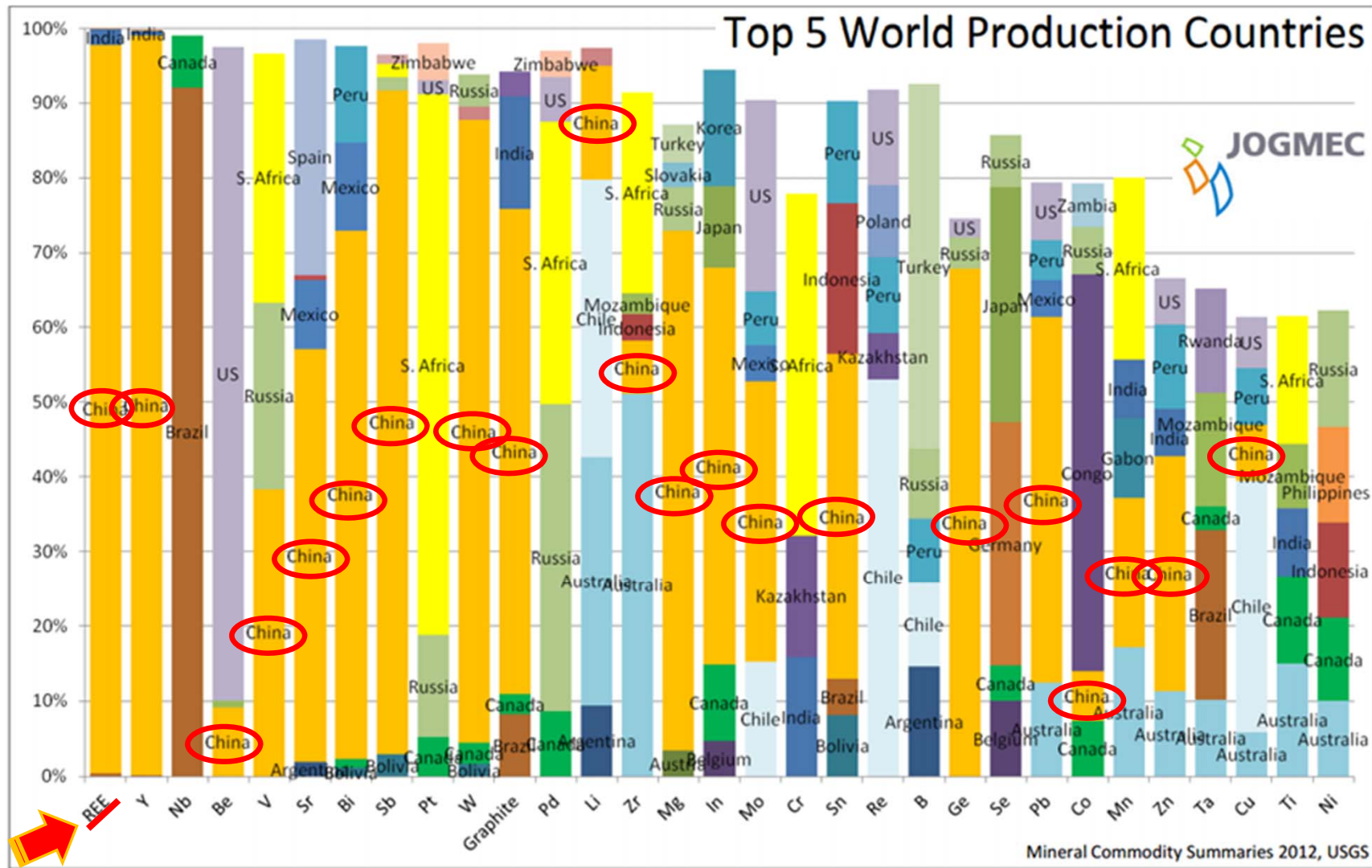
¿Quién las produce?



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



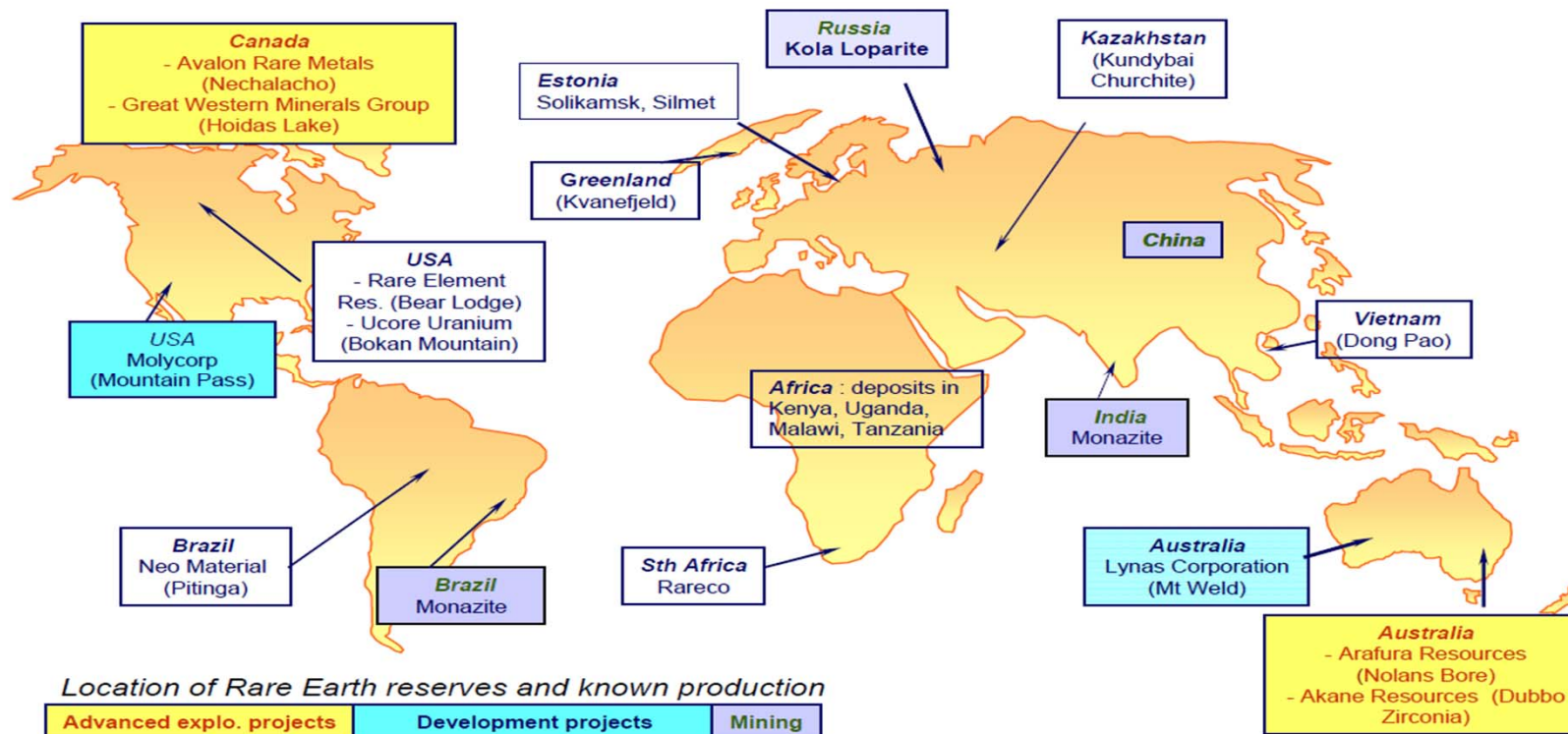
CONAMA2014



Enrique Montero
 Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

¿Nadie más?

Boom in REE mining projects outside China



Christian Hocquard

Ifri Energy Breakfast Roundtable, May 20 th, 2010, Brussels

19

From Rhodia Silcea, CH modified

(Fuente: Rare Earths (REE), Christian Hocquard, Ifri Energy Breakfast Roundtable, 2010, Brussels)

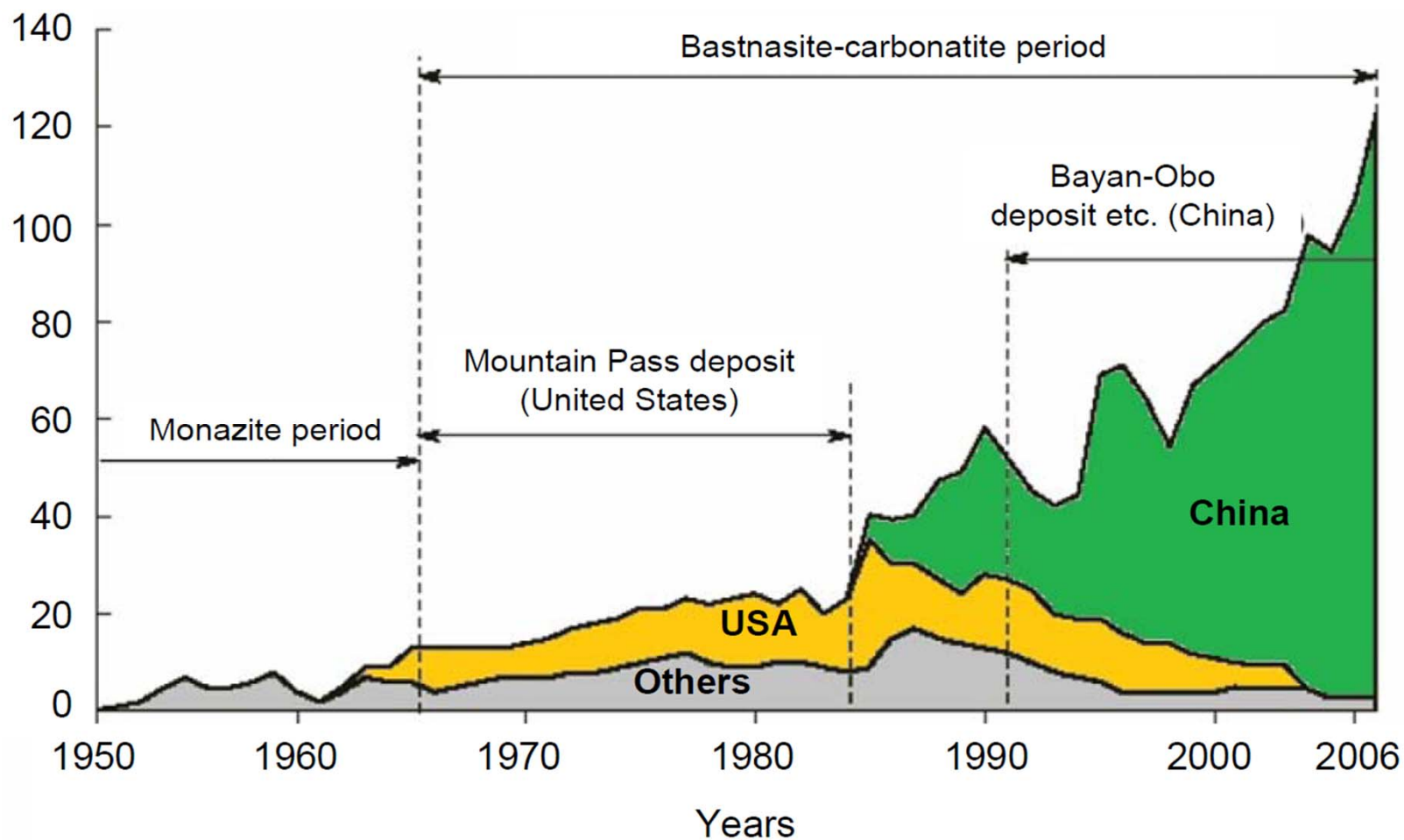


CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

¿Siempre ha sido así?



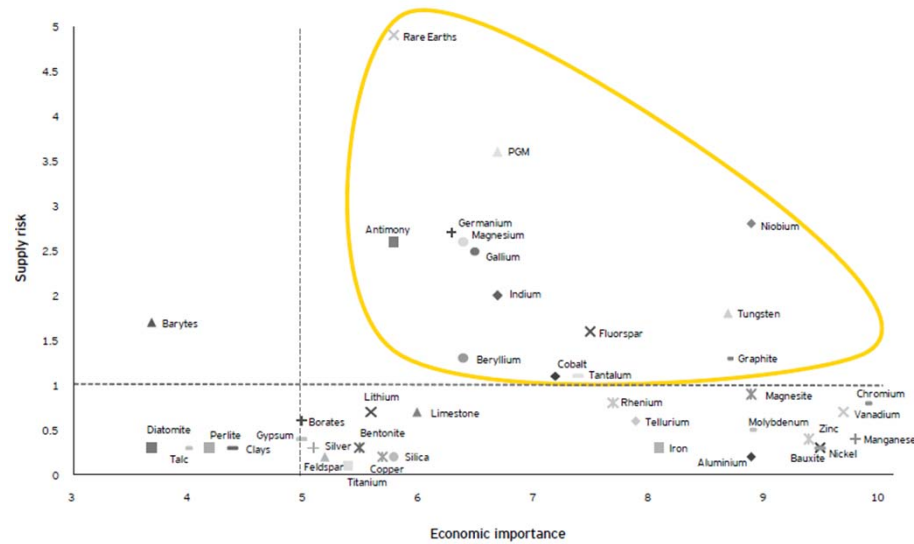
CONAMA2014



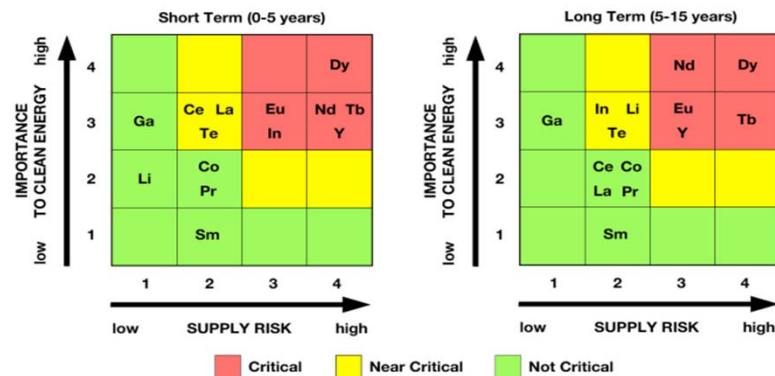
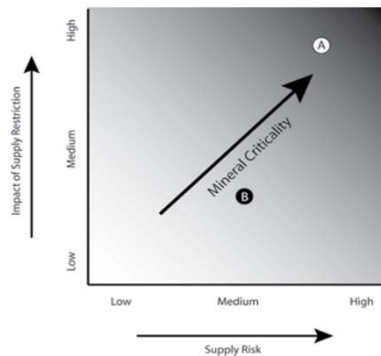
Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

Las tierras raras como materias primas críticas

UE



EEUU



Short- and medium-term criticality matrices for select elements (source: TMR, after Bauer et al., 2010).



CONAMA2014



Enrique Montero
 Universidad de Cádiz
 www.catedrarelec.es

*"The Middle East has oil,
but China has
Rare Earth Elements"*

Deng Xiaoping, 1992



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

*" Yo no sé ustedes, pero creo que esta historia es profundamente inquietante, tanto por lo que dice acerca de China como por lo que dice acerca de nosotros. Por un lado, el caso pone de manifiesto la irresponsabilidad de los políticos de Estados Unidos, que **no hicieron nada, cuando un régimen no fiable adquirió un dominio absoluto sobre los materiales clave**. Por otro lado, el incidente muestra un gobierno chino que es peligrosamente de gatillo fácil, dispuesto a librar una guerra económica a la menor provocación."*

The New York Times

The Opinion Pages

WORLD U.S. N.Y. / REGION BUSINESS TECHNOLOGY SCIENCE HEALTH SPORTS OPINION

OP-ED COLUMNIST

Rare and Foolish

By PAUL KRUGMAN

Published: October 17, 2010

Last month a Chinese trawler operating in Japanese-controlled waters collided with two vessels of Japan's Coast Guard. Japan detained the trawler's captain; China responded by cutting off Japan's access to crucial raw materials.



Fred R. Conrad/The New York Times
Paul Krugman

And there was nowhere else to turn: China accounts for 97 percent of the world's supply of rare earths, minerals that play an essential role in many high-technology products, including military equipment. Sure enough, Japan soon let the captain go.

I don't know about you, but I find this story deeply disturbing, both for what it says about China and what it says about us. On one side, the affair highlights the fecklessness of U.S. policy makers, who did nothing while an unreliable regime acquired a stranglehold on key materials. On the other side, the incident shows a Chinese government that is dangerously trigger-happy, willing to wage economic warfare on the slightest provocation.

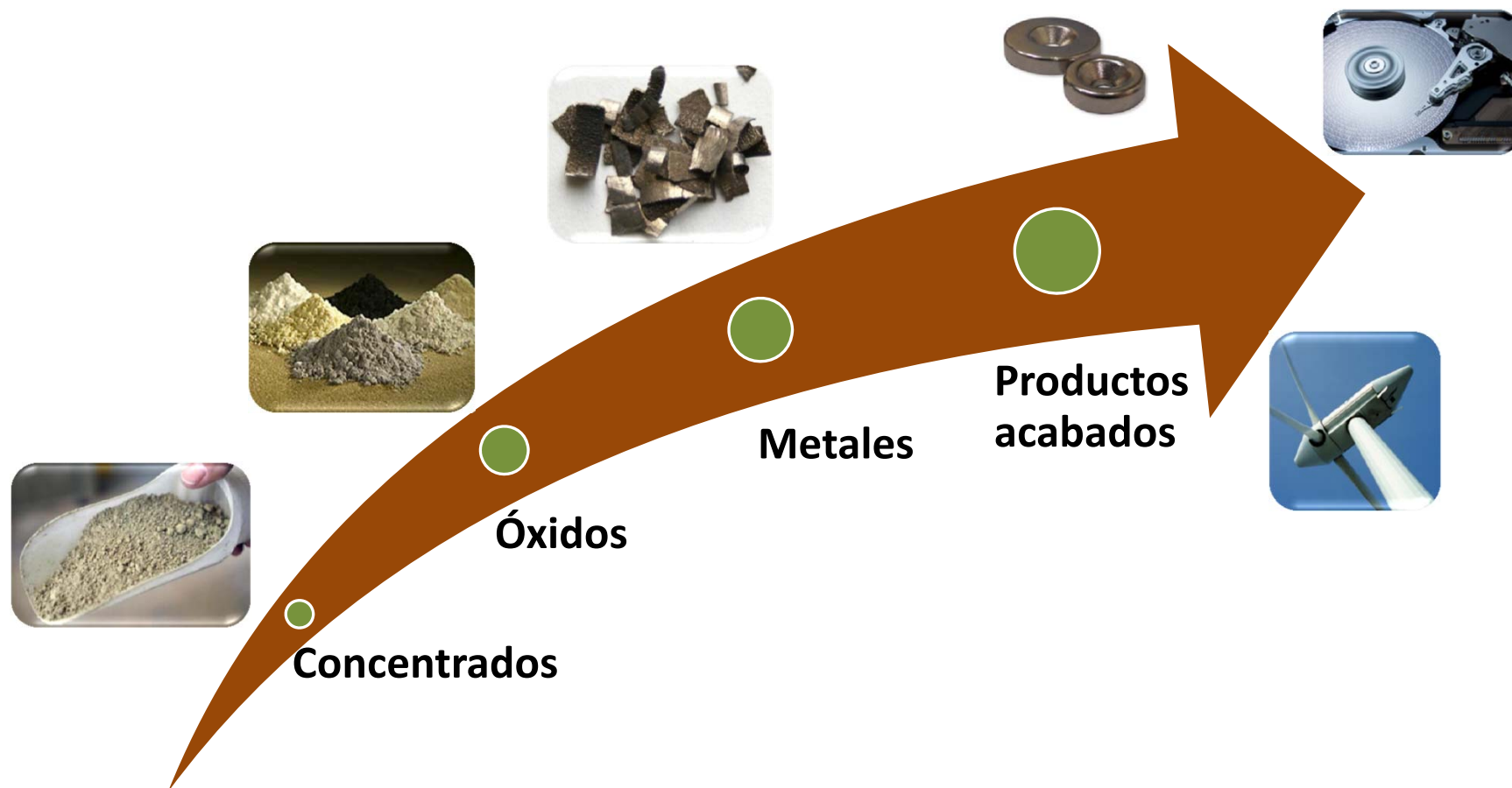


CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

Evolución del tipo de exportaciones chinas relacionadas con las tierras raras



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

La producción es casi totalmente china pero, ¿y las reservas?

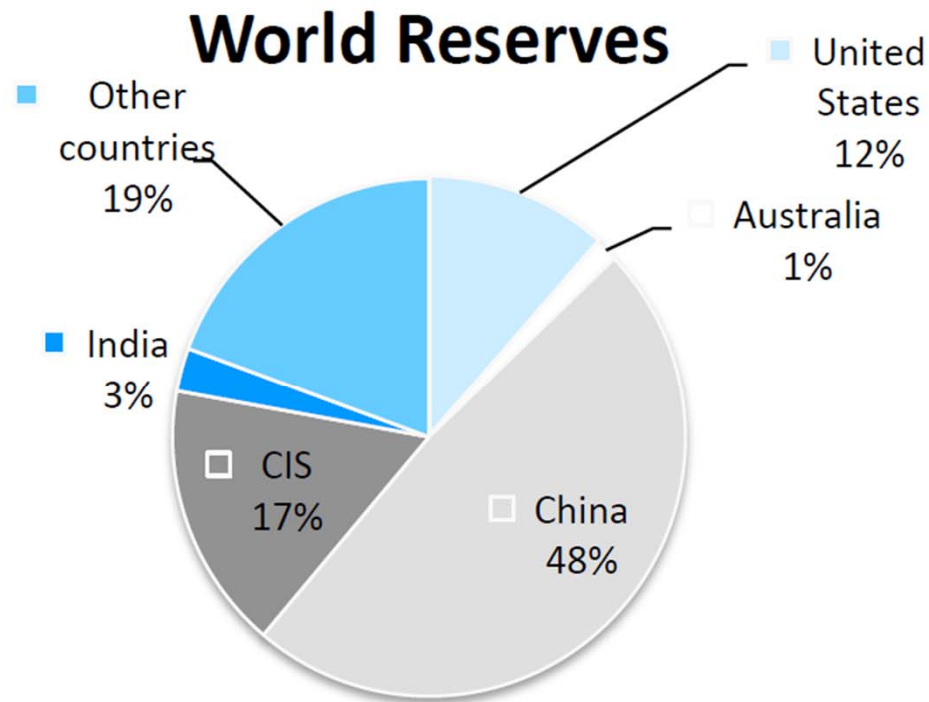


Table 2. World Reserves in million tons (USGS 2012)

United States	13
Australia	1.6
China	55
CIS	19
India	3.1
Other countries	22
Total	114

World Reserves REE (source USGS 2012)



CONAMA2014



Enrique Montero
 Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

06

Entonces, ¿por
qué se producen
principalmente
en China?



Entonces, ¿por qué se producen principalmente en China?



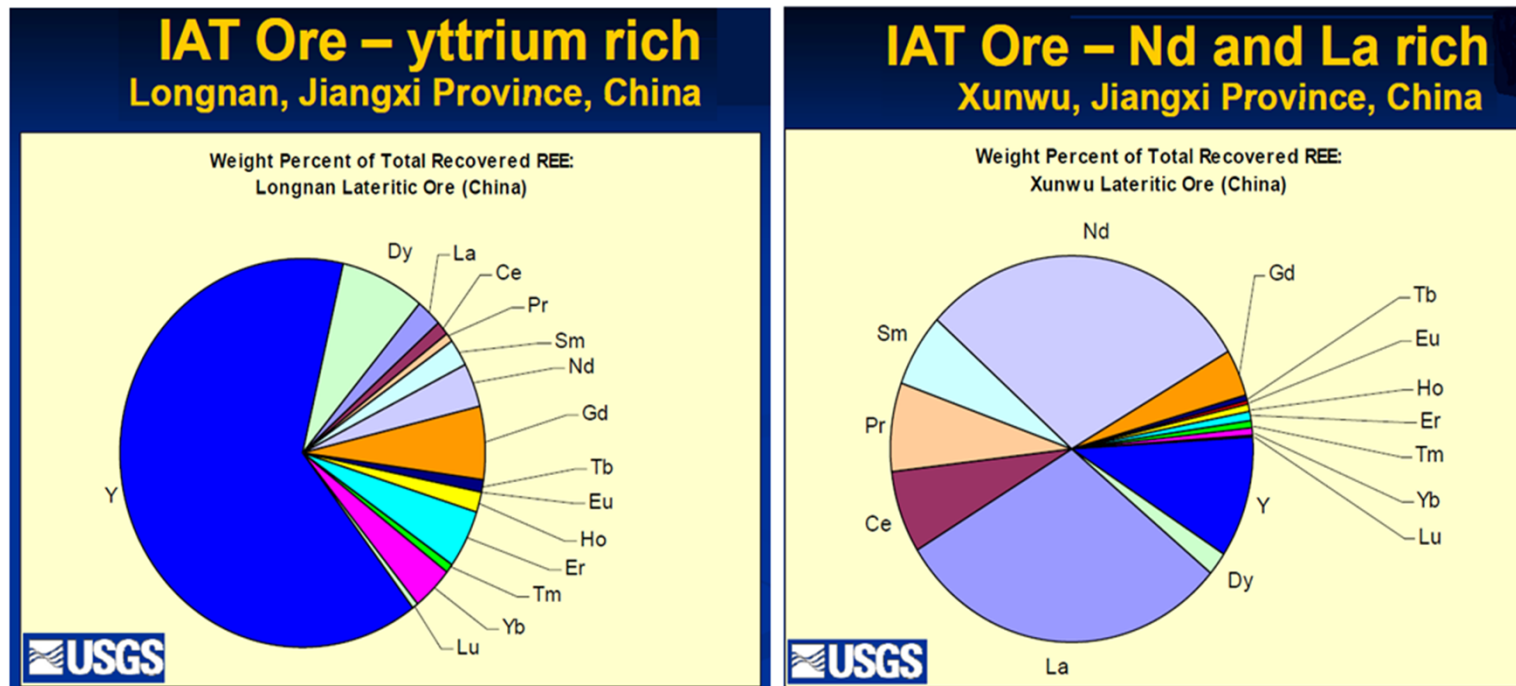
CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

Pero..., ¿podemos reaccionar en este momento?

Diferentes yacimientos, diferentes tecnologías de refinado



Source: Introduction to Jiangxi rare earths and applied products, 1985 (Jiangxi Province brochure).

Fuente: Rare-Earth Industry Overview and Defense Applications, James B. Hedrick, 2010 SME Annual Meeting and Exhibit



CONAMA2014

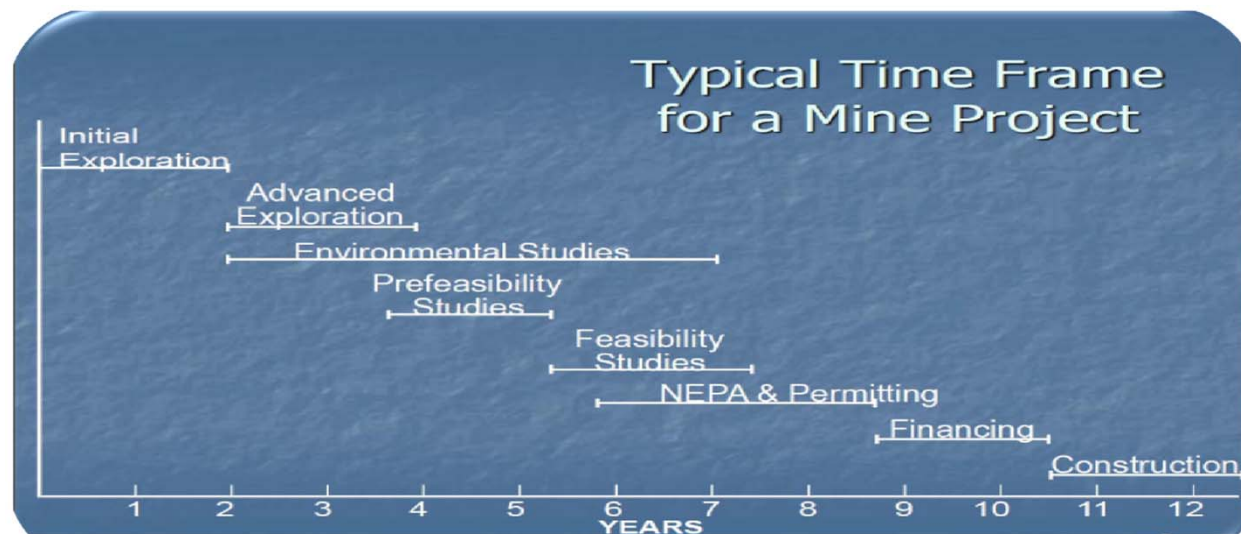


Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

Pero..., ¿podemos reaccionar en este momento?

“Las personas que realmente saben cómo hacer un imán (de tierras raras) pertenecen a tres categorías: jubilados, seniles y muertos”

Bob Wolf
Vicepresidente de Alliance LLC



Typical time frame for a mine project.



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

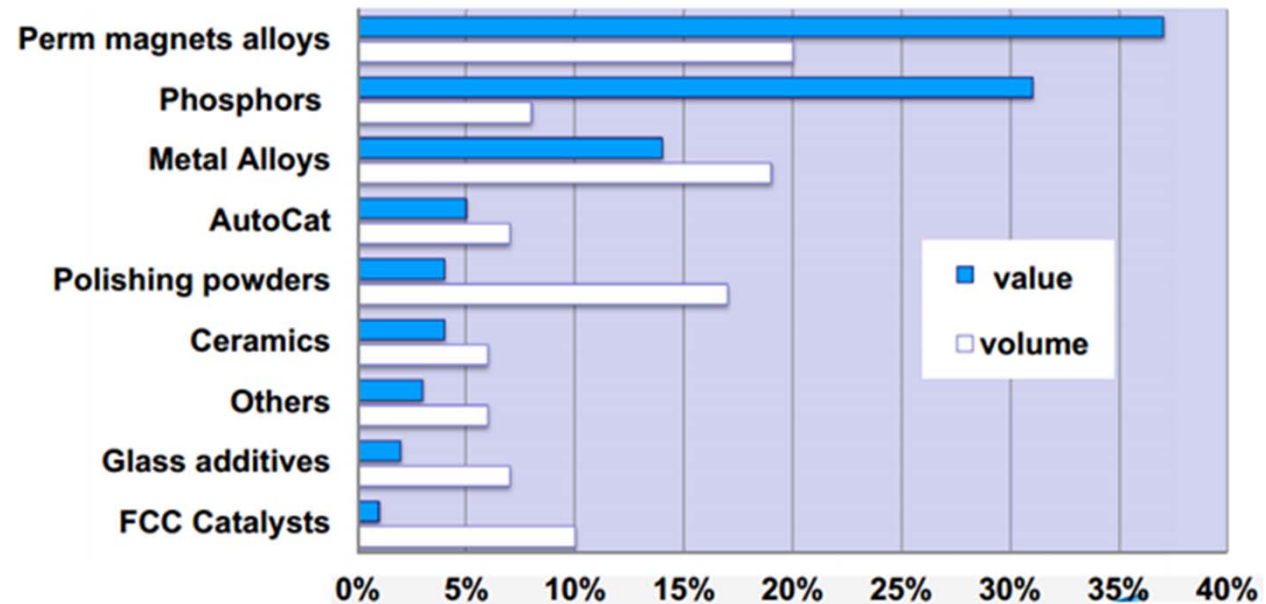
TANTO LOS PRECIOS COMO LA DEMANDA SON MUY DIFERENTES PARA UNAS Y OTRAS

PRECIOS

China FOB prices – September 2013

USD/kg	La	Ce	Pr	Nd	Eu	Tb	Dy	Y
oxide	6.7	6.7	113	80	1025	950	541	24
metal	12.5	13.5	116	99		1150	727	63

TAMAÑO DEL MERCADO



Fuente: *Plenary lectures: Introduction*, Solvay RE systems and recycling, IRF-KP RARE3 Industrial User Committee Meeting, 2014



CONAMA2014



Enrique Montero
 Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



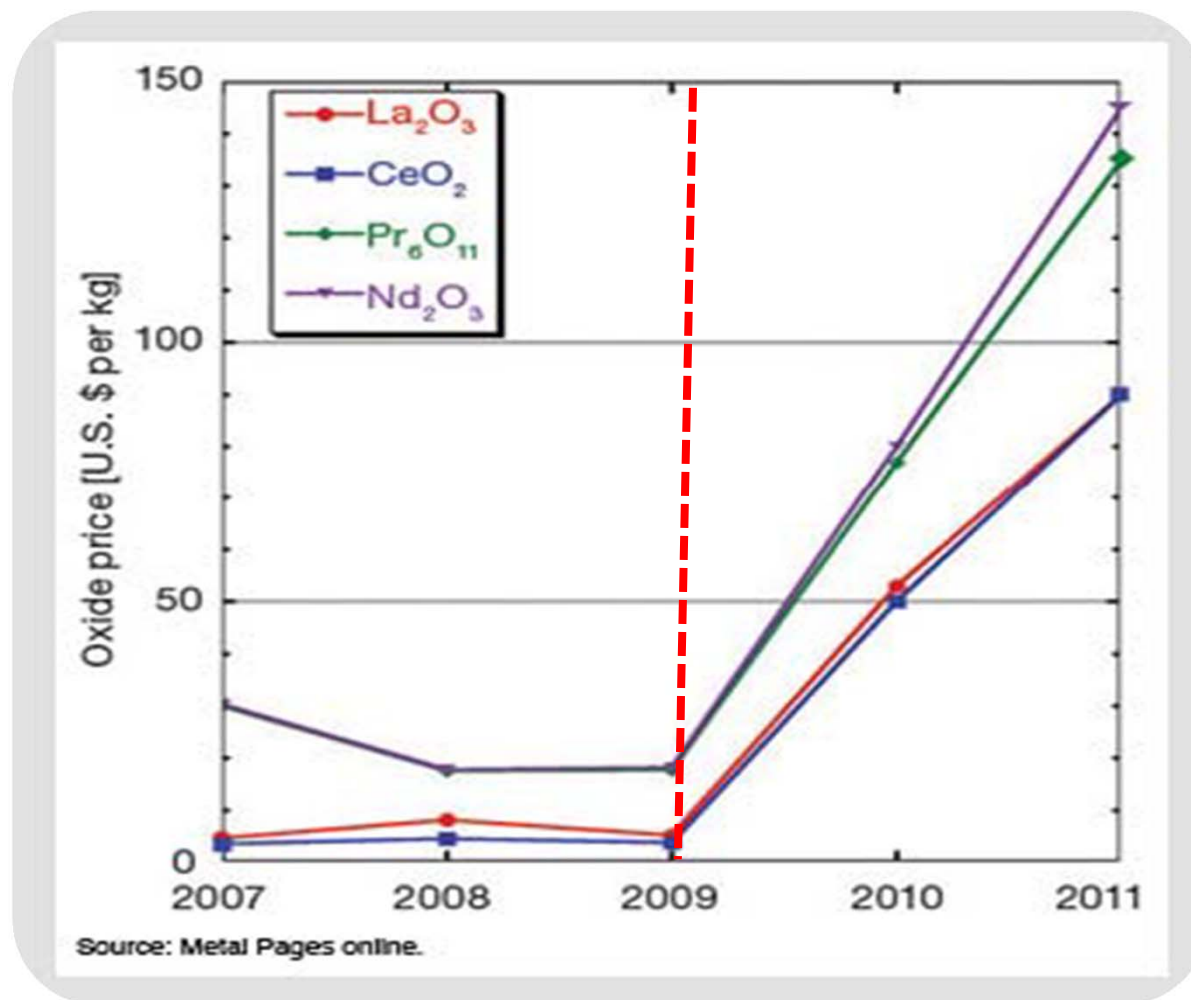
Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

07

La crisis de las
tierras raras



Evolución de los precios de los óxidos

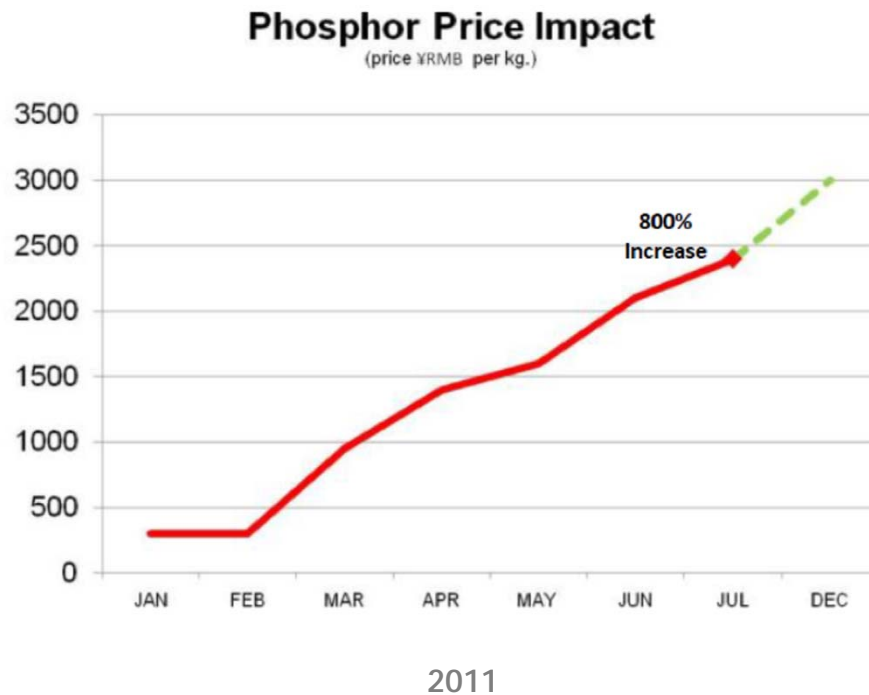


CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

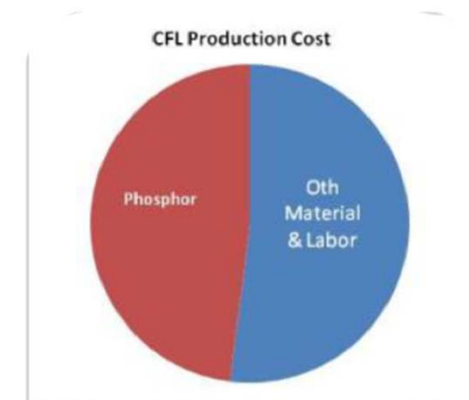
En el caso de los fósforos



http://o.b5z.net/i/u/10069179/f/TCP_Phosphor_Pricing_Information.pdf



CFL Material Cost Breakdown *Before* Phosphor Impact (January 2011)



Current CFL Material Cost Breakdown



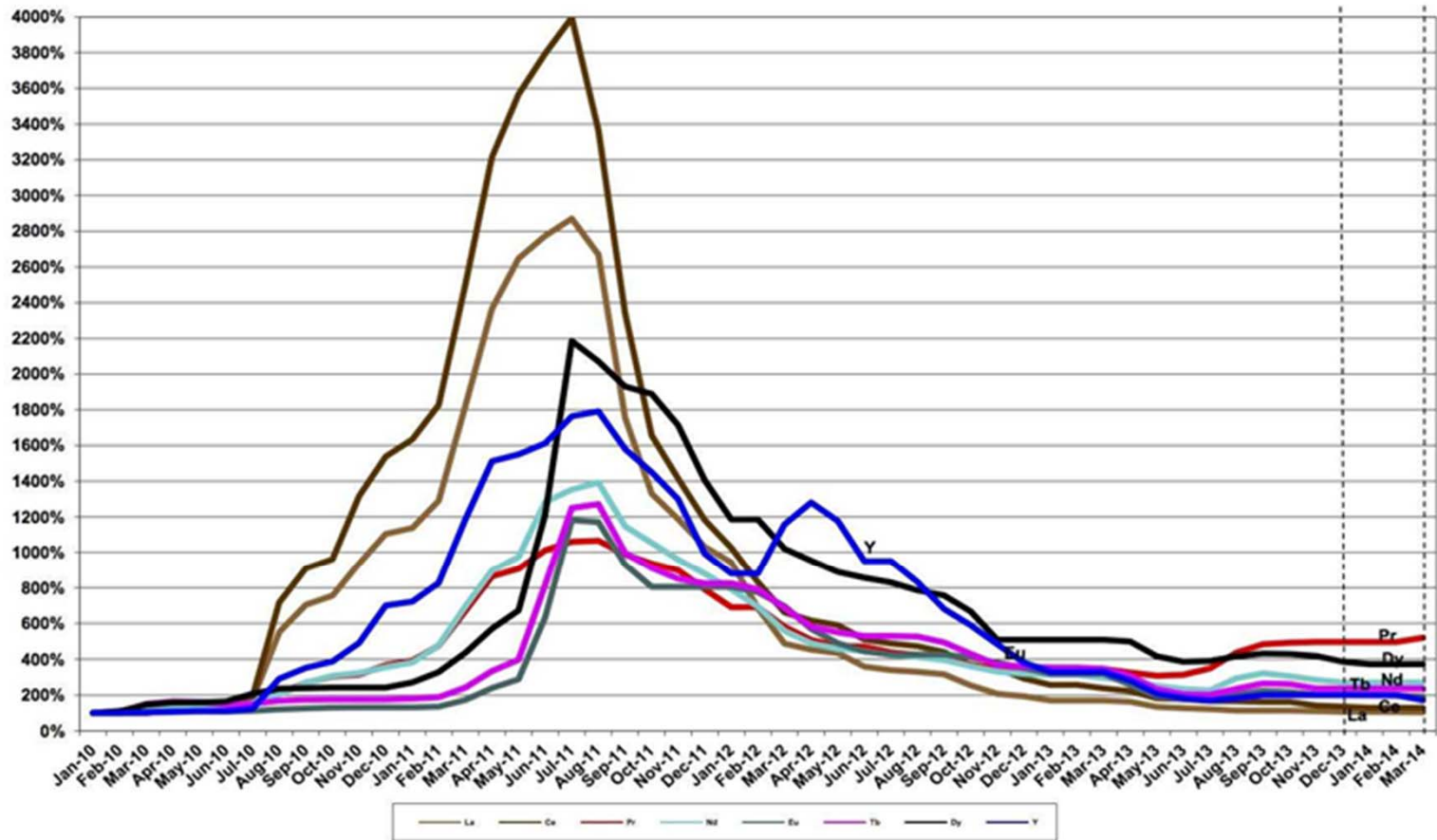
CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

Actualmente

Rare Earth Index Prices: (% based on Jan. 2010 Prices)



(Source: Metal-Pages, FOB China min)



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

08

¿Se pueden
reciclar?



POSIBILIDADES QUE SE NOS PRESENTAN

1. No utilización de tierras raras

2. Disminución de su cantidad

3. Sustitución por otros elementos

4. Reciclado de los elementos que las contienen

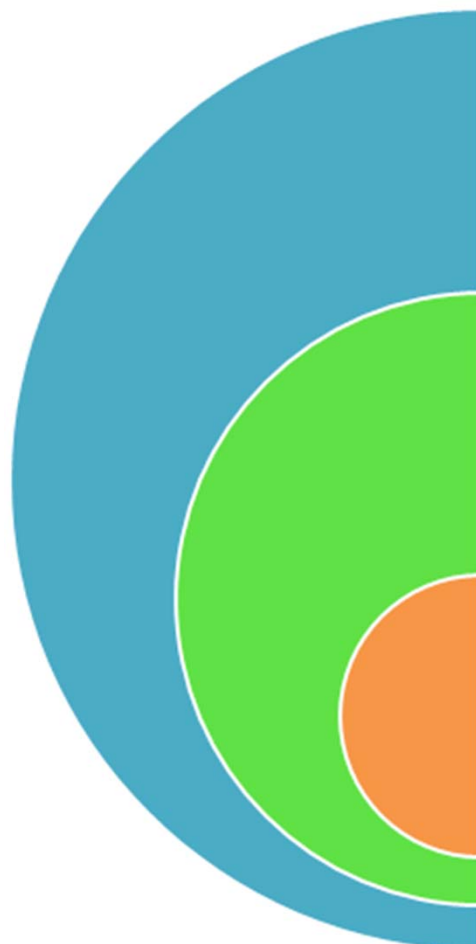


CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

VENTAJAS DEL RECICLADO DE TIERRAS RARAS



MEDIOAMBIENTALES	<ul style="list-style-type: none">• Reduce considerablemente el impacto ambiental que supone la obtención primaria de dichos elementos• No presenta el problema de la presencia de subproductos radiactivos.
ESTRATÉGICAS	<ul style="list-style-type: none">• Reduce la dependencia del exterior
ECONÓMICAS	<ul style="list-style-type: none">• Menor coste de producción
DE PROCESAMIENTO	<ul style="list-style-type: none">• Los pasos para la separación de los elementos de las tierras raras son mas simples que a partir de los minerales



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

CAUSAS DE LAS BAJAS TASAS DE RECICLADO DE LAS TIERRAS RARAS



- Bajos precios de la tierras raras de China: escaso interés de los fabricantes
- No existencia de ningún problema de suministro
- No haberse implementado una logística de recogida
- Ineficiencia de los procesos existentes de desmontaje
- Carencias en las tecnologías de procesamiento, como consecuencia del abandono de las investigaciones en este campo
- Ningún consumo energético ni contaminación *in situ*
- Los equipos modernos tienen gran cantidad de elementos diferentes y la mayoría en pocas cantidades
- Mercado disperso y complejo
- En el caso de los fósforos no existe el problema del mercurio
- No concienciación, ni interés por parte de los consumidores de los productos finales ni las administraciones



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

¿QUE CRITERIOS DEBERÍAN SEGUIRSE PARA EL RECICLADO DE TIERRAS RARAS?

1. SECTORES QUE DISPONGAN YA DE UNA LOGÍSTICA DE RECOGIDA
2. PRODUCTOS QUE CONTENGAN LAS TIERRAS RARAS MÁS VALIOSAS

BÁSICAMENTE

- Lámparas de bajo consumo (La, Ce, Tb, Eu, Gd & Y)
- Imanes (Pr, Nd, Dy)
- Baterías de NiMH (La, Ce, Pr, Nd)



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

09

Lecciones
a extraer



EL ACTUAL MODELO DE CONSUMO ES INSOSTENIBLE

¿Es sostenible un sistema basado en crecimientos exponenciales?

¿Cuánto tiempo más podremos seguir desarrollando las tecnologías avanzadas actuales, que tanto precisan de las tierras raras?

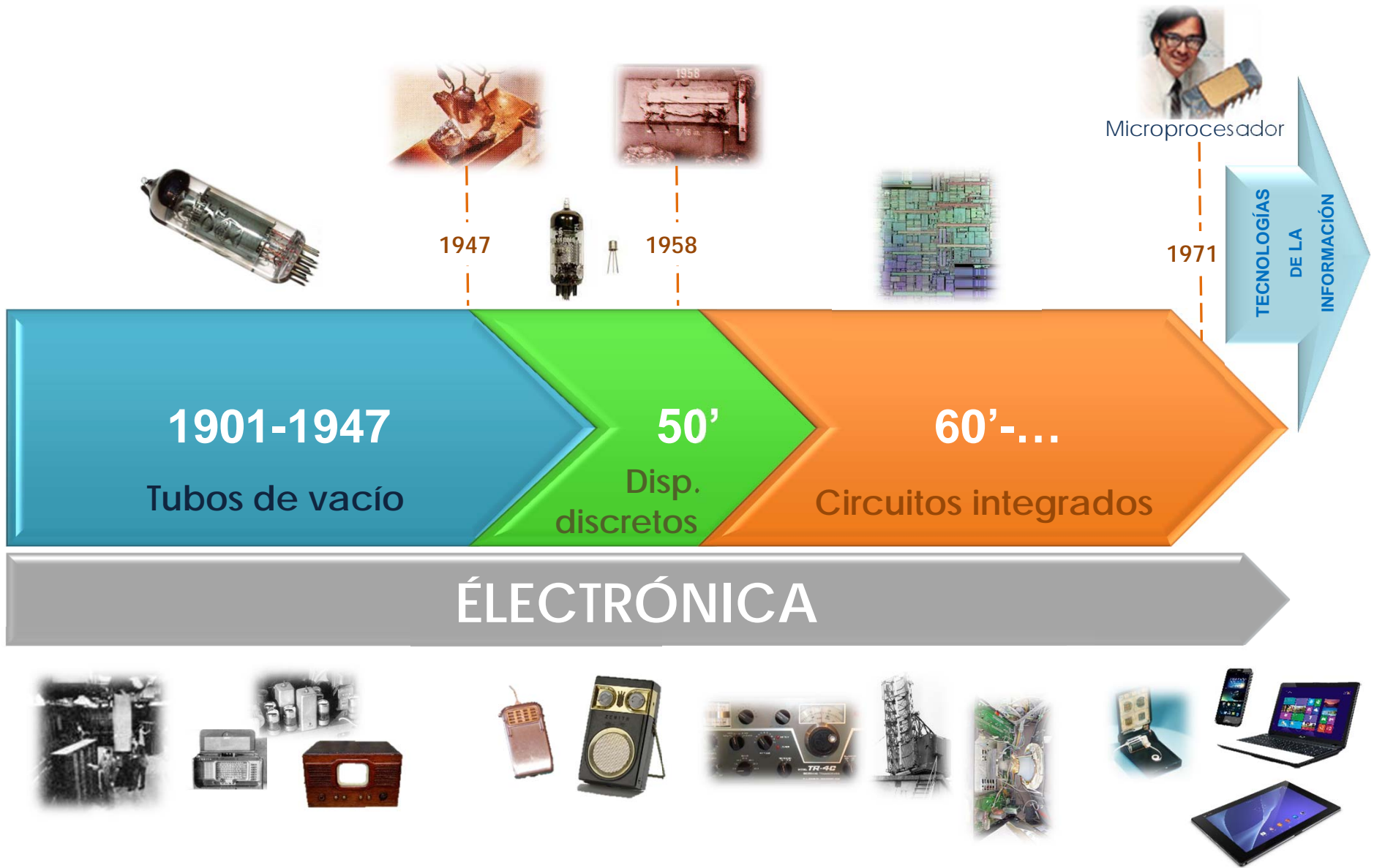
¿Será soportable en el futuro la obtención de los elementos de las tierras raras no solo desde el punto de vista medioambiental, sino también económico?



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

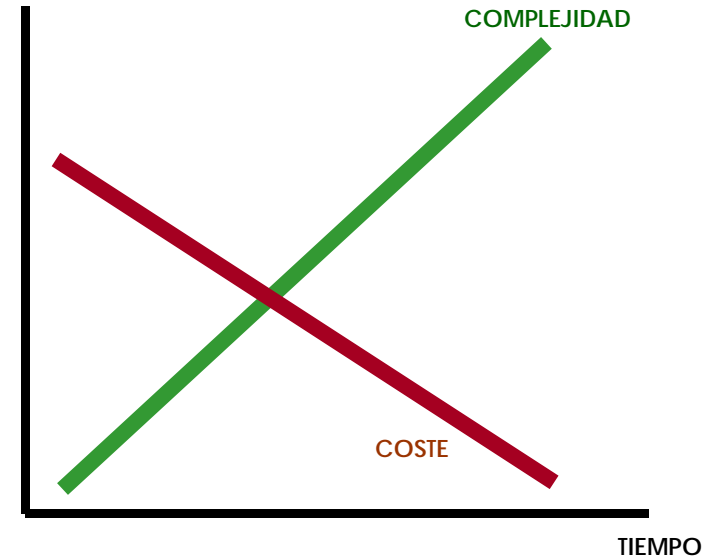
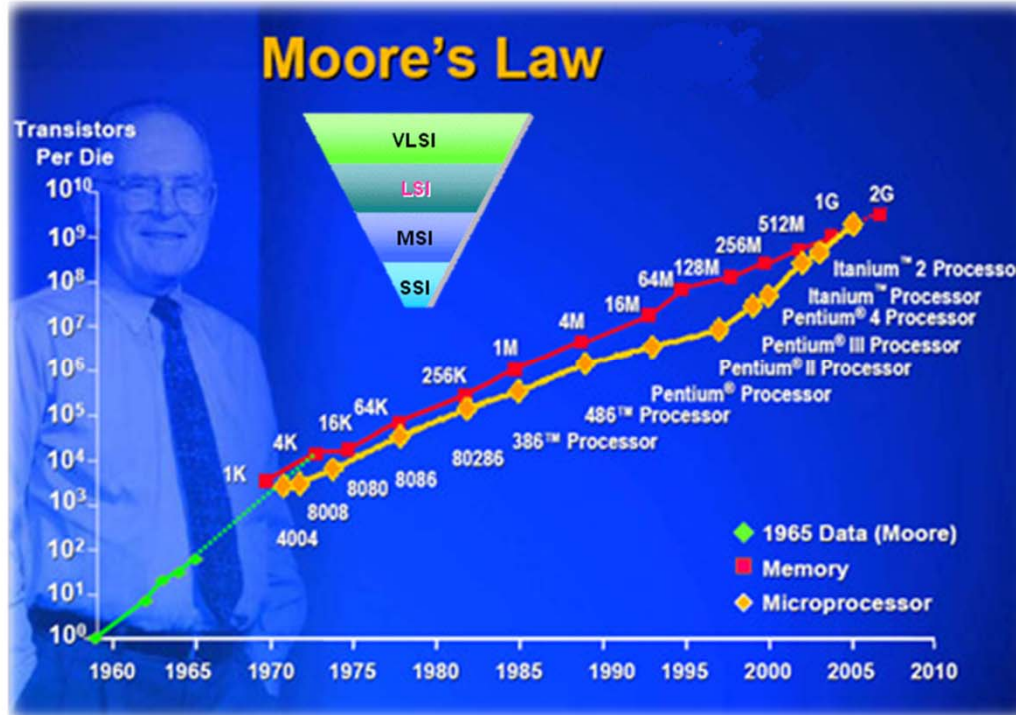


CONAMA2014



Enrique Montero
 Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

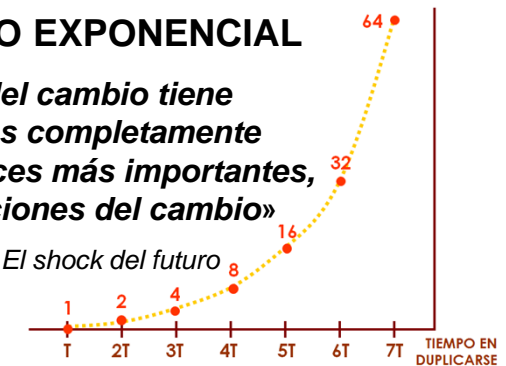
1965: LA LEY DE MOORE



CRECIMIENTO EXPONENCIAL

«El ritmo del cambio tiene implicaciones completamente distintas, y a veces más importantes, que las direcciones del cambio»

Alvin Toffler, *El shock del futuro*



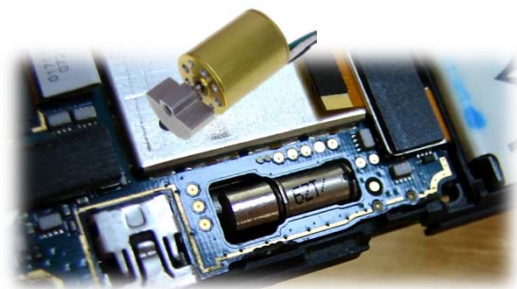
CONAMA2014



Enrique Montero
 Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

SOLO EL RECICLADO NO ES SOLUCIÓN

- Al cabo de unos pocos reciclados los elementos desaparecen
- Deben priorizarse:
 - Preparación para la reutilización
 - Reducción (las tierras raras no deben emplearse en aplicaciones sin importancia)



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es

EL OPTIMISMO TECNOLÓGICO CARECE DE FUNDAMENTO

*Los problemas que pertenecen a esta categoría
no tienen soluciones técnicas.*

*Lo que necesitan son cambios en el
comportamiento y las costumbres de los seres
humanos.*

La tragedia de lo común
Garret Hardin
Science 162 1968



Muchas gracias
por su atención



CONAMA2014



Enrique Montero
Universidad de Cádiz
www.catedrarelec.es