

Dedicatoria	5
Prólogo	7
Índice	11
Índice de anunciantes	17

1. Introducción

1.1. Definición de tierras raras	19
1.2. Descubrimiento de las tierras raras y etimología	23
1.3. Abundancia de las tierras raras en la corteza terrestre	25
1.3.1. Principales yacimientos de tierras raras en el mundo	25
1.4. Mineralogía de las tierras raras	27
1.5. Principales aplicaciones de las tierras raras	31
1.6. Carácter crítico de las tierras raras	35
1.6.1. Estados Unidos	35
1.6.2. Unión Europea	38
1.6.3. World Materials Forum	42
1.6.4. Crisis del año 2010	42
1.7. Producción y demanda de las tierras raras	43
1.8. El problema del equilibrio en la producción de las tierras raras	46
1.9. Precios de las tierras raras	52
1.10. Factores que condicionan la economía de las tierras raras	55

2. Los yacimientos de tierras raras

2.1. Geoquímica de las tierras raras	57
2.1.1. Introducción	57
2.1.2. Abundancia de las tierras raras en la tierra y en los principales tipos de rocas	59
2.1.3. Abundancia de las tierras raras en las fases minerales	62
2.1.4. Mineralogía de las tierras raras en los yacimientos	62

2.2. Procesos de formación de los yacimientos de tierras raras	68
2.2.1 Formación en magmas carbonatíticos	68
2.2.2 Formación en magmas alcalinos	69
2.2.3. Formación a través de procesos hidrotermales	70
2.2.4. Formación a través de procesos de alteración	71
2.2.5. Geoquímica de las tierras raras en soluciones acuosas	72
2.3. Tipos de yacimientos de tierras raras	73
2.3.1. Depósitos en carbonatitas	77
2.3.2. Depósitos en rocas ígneas peralcalinas	83
2.3.3. Depositos en venas y skarn	89
2.3.4. Depósitos de alteración	90
2.3.5. Depósitos en arcillas con adsorción iónica	96
2.3.6. Depósitos en placeres	100
2.3.7. Otros tipos de yacimientos	104
2.4. Distribución geográfica de los yacimientos de tierras raras	107
2.4.1. China	112
2.4.2. Estados Unidos	117
2.4.3. Europa	119
2.4.4. Australia	124
2.4.5. Brasil	127
2.4.6. Rusia	129
2.4.7. Canadá	129
2.4.8. África	133
2.4.9. Otros	137
2.5. Principales yacimientos de tierras raras en el mundo	138
2.5.1. Bayan Obo	145
2.5.2. Maoniuping	147
2.5.3. Arcillas con adsorción iónica del sur de China	149
2.5.4. Mount Weld	153
2.5.5. Lovozero	154
2.5.6. Mountain Pass	155
3. Procesado de las tierras raras	
3.1. Introducción	157
3.2. Métodos de explotación	162
3.3. Técnicas de concentración de los minerales	168
3.3.1. Métodos basados en la gravedad	172
3.3.2. Separación magnética	175
3.3.3. Separación electrostática	179
3.3.4. Flotación	179
3.4. Hidrometalurgia: lixiviado	193
3.4.1. Lixiviado de la bastnasita	196

3.4.2. Lixiviado de la monacita	197
3.4.3. Lixiviado de la xenotima	198
3.4.4. Lixiviado de las arcillas con adsorción iónica	202
3.4.5. Lixiviado de otros minerales con tierras raras	206
3.4.6. Eliminación de las impurezas de carácter radioactivo	210
3.5. Procesos de separación	211
3.5.1. Oxidación-reducción	212
3.5.2. Cristalización fraccionada	212
3.5.3. Precipitación fraccionada	213
3.5.4. Intercambio iónico	214
3.5.5. Extracción por solvente	215
3.6. Reducción y refinado de las tierras raras	220
3.6.1. Electrolisis de sales fundidas (<i>electrowinning</i>)	221
3.6.2. Reducción metalotérmica	225
3.6.3. Procesos de refinado	226
4. Aplicaciones y usos de las tierras raras	
4.1. Introducción	227
4.2. Catalizadores	238
4.2.1. Craqueo (<i>cracking</i>) catalítico del petróleo	239
4.2.2. Convertidores catalíticos de automóviles	245
4.2.3. Otros usos	247
4.3. Imanes permanentes	248
4.3.1. Imanes de samario-cobalto	252
4.3.2. Imanes de neodimio-hierro-boro	255
4.4. Aleaciones y metal	275
4.4.1. Hierro fundido	275
4.4.2. Acero	275
4.4.3. Aleaciones de magnesio, aluminio y otras	276
4.5. Baterías NiMH	278
4.5.1. Otras baterías	280
4.6. Fósforos	280
4.6.1. Bombillas fluorescentes compactas	281
4.6.2. Otras lámparas	282
4.6.3. Pantallas de rayos X	283
4.6.4. Tubos de rayos catódicos	283
4.6.5. Monitores y pantallas de televisión	284
4.6.6. Otros usos	284
4.7. Pulido del vidrio	285
4.8. Cerámica	290
4.8.1. Colorantes	290
4.8.2. Refractarios	290
4.8.3. Electrónica	291

4.8.4. Cerámicas estructurales	292
4.8.5. Otras cerámicas	297
4.9. Vidrio	298
4.9.1. Decolorantes	298
4.9.2. Colorantes	298
4.9.3. Aumento del índice de refracción	299
4.9.4. Protección contra la radiación	300
4.9.5. Fibra óptica	300
4.10. Otras aplicaciones	305
4.10.1. Láseres	305
4.10.2. Aplicaciones nucleares	309
4.10.3. Medicina	310
4.10.4. Magnetostricción	310
4.10.5. Refrigeración magnética	311
4.10.6. Fertilizantes	313
4.10.7. Textiles	313
4.10.8. Joyería	313
4.10.9. Pintura	313
4.10.10. Iluminación	313
4.10.11. Microondas	314
4.10.12. Otros usos en diversas ciencias	314
4.11. Defensa	315
4.12. Aplicaciones y usos por elementos	317
4.12.1. Lantano	318
4.12.2. Cerio	319
4.12.3. Praseodimio	321
4.12.4. Neodimio	321
4.12.5. Prometio	323
4.12.6. Samario	324
4.12.7. Europio	325
4.12.8. Gadolinio	326
4.12.9. Terbio	327
4.12.10. Disprobio	328
4.12.11. Holmio	330
4.12.12. Erbio	330
4.12.13. Tulio	331
4.12.14. Iterbio	332
4.12.15. Lutecio	334
4.12.16. Escandio	337
4.12.17. Itrio	341
4.12.18. Resumen de las principales aplicaciones de los elementos de tierras raras	343
4.13. Perspectivas de las tierras raras en las aplicaciones industriales	346

5. Reciclado de las tierras raras

5.1. Introducción	353
5.2. Los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos	362
5.3. Minería urbana	368
5.4. Métodos de reciclado	370
5.4.1. Métodos hidrometalúrgicos	371
5.4.2. Métodos pirometalúrgicos	372
5.4.3. Extracción en fase gaseosa	374
5.5. Reciclado de las tierras raras en los productos fuera de uso	375
5.5.1. Imanes permanentes	376
5.5.2. Fósforos	386
5.5.3. Baterías	395
5.5.4. Catalizadores	396
5.6. Reciclado de las tierras raras en los residuos industriales líquidos y sólidos ..	396
5.6.1. Cenizas del carbón	396
5.6.2. Fosfoyeso	398
5.6.3. Barros rojos	399
5.6.5. Residuos mineros	400
5.6.6. Escorias metalúrgicas	402
Bibliografía	405