

Tierras raras y microchips

Perspectiva de la Unión Europea

Autores: Pan, Miguel; Tejero, Juan Manuel; Román, Miguel; Ebeltjes, Almudena;
Rodríguez, Paula

UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS

Tutores: Montesinos Chía, Santiago; Herrera Sanchez, David.

INVIA

15/10/2022

Índice

Resumen ejecutivo. <i>Abstract</i>	3
1. Introducción.....	4
1.1. Metodología	5
1.2. Marco teórico	5
1.2.1. Tierras raras: Concepto y tipos	5
1.2.2. La evolución de las tierras raras: descubrimiento – actualidad	6
1.2.3. Microchips: Concepto.....	7
1.2.4. La evolución de los microchips	8
1.2.4.1. Crisis de los microchips	9
2. Situación actual de las tierras raras.....	10
2.1. Criticidad para sectores estratégicos	10
2.2. Medios de extracción y separación	12
2.3. Aplicaciones tecnológicas.....	13
3. Situación actual de los microchips	14
3.1. Criticidad para sectores estratégicos	14
3.2. Aplicaciones tecnológicas.....	15
4. Estrategia de la Unión Europea	16
4.1. La Estrategia Industrial de la UE («EU Industry»).....	18
4.2. Plan de Acción sobre Materias Primas Críticas	20
4.3. La Ley de Chips de la Unión Europea	21
4.3.1. Proyecto EURARE	22
4.3.2. Proyecto ERECON	23
4.3.3. Proyecto MATAMULAS	23
5. Tierras raras y la UE: otros actores y sus relaciones	24
5.1. Estados Unidos y Australia.....	24
5.1.1. Reservas y producción de tierras raras: situación del actor a nivel global.....	24
5.1.2. Relaciones con la UE y política exterior	25
5.2. Rusia	25
5.2.1. Reservas y producción de tierras raras: situación del actor a nivel global.....	25
5.2.2. Relaciones con la UE y política exterior	26
5.3. China.....	26
5.3.1. Reservas y producción de tierras raras: situación del actor a nivel global.....	26

5.3.2. Relaciones con la UE y política exterior	27
5.4. Brasil, India y Vietnam	28
5.4.1. Reservas y producción de tierras raras: situación del actor a nivel global	28
5.4.2. Relaciones con la UE y política exterior	28
6. Tendencias de futuro: Generación de escenarios.....	29
7. Recomendaciones	34
8. Conclusiones.....	35
9. Bibliografía.....	37
ANEXOS	42

Resumen ejecutivo

La creciente digitalización y desarrollo de nuevas tecnologías han posicionado a las tierras raras como un elemento estratégico para los países y sus industrias. Los minerales extraídos de dichas tierras tienen un gran valor y una alta demanda, ya que se emplean en la fabricación de placas solares, imanes, motores de coches híbridos y eléctricos; en energías renovables o microchips. China se alza como el líder indiscutible de las reservas mundiales de dichas tierras, lo que le ha permitido explotar su producción y crear dependencia de estas en otros países. En este contexto, la Unión Europea carece de alternativas de obtención de minerales raros para fortalecer la resiliencia de su industria y avanzar, así, hacia sus metas medioambientales y de energías renovables. El presente trabajo explora el contexto geopolítico actual de las tierras raras y sus implicaciones para la Unión Europea. Adicionalmente, a través de la fusión de la Técnica de Generación de Escenarios Simples de Randolph H. Pherson y Richards J. Heuer y la Técnica de Construcción de Escenarios de Fulton Armstrong, se plantean diversos escenarios que podría afrontar el bloque comunitario con relación a las tierras raras, siendo el más probable el *Statu quo*, un mantenimiento de la situación actual. En último lugar, se proponen algunas recomendaciones para que la Unión Europea asegure su suministro de estos minerales y fomente la extracción y la resiliencia de sus cadenas de producción.

Palabras clave: Tierras raras, microchips, China, Unión Europea, situación, estratégico, escenario, sector, proyecto.

Abstract

The increasing digitalization and development of new technologies have positioned rare earths as a strategic element for countries and their industries. The minerals extracted from these earths are highly valuable and in high demand, as they are used in the manufacture of solar panels, magnets, hybrid and electric car engines, renewable energies and microchips. China is the undisputed leader in the world's rare earth reserves, which has enabled it to exploit its production and create dependence on it in other countries. In this context, the European Union lacks alternatives for obtaining rare minerals to strengthen the resilience of its industry and move towards its environmental and renewable energy goals. This paper explores the current geopolitical context of rare earths and its implications for the European Union. Additionally, through the fusion of Randolph H. Pherson and Richards J. Heuer's Simple Scenario Generation Technique and Fulton Armstrong's Scenario Construction Technique, various scenarios that the EU bloc could face in relation to rare earths are proposed, being the most likely the *Status Quo*, a continuation of the current situation. Finally, some recommendations are proposed for the European Union to secure the supply of rare earths and promote their extraction and the resilience of its production chains.

Key words: rare earths, microchips, China, European Union, situation, strategic, scenario, sector, project.

1. Introducción

La palabra tierra procede del término latino *terra* que significa “material desmenuzable de que principalmente se compone el suelo natural” y rara procede del término latino *rarus* que significa “extraordinario, poco común y que se comporta de un modo inhabitual” (Diccionario de la Real Academia Española, 2020). Este hecho sugiere, al margen de sus matices, que el origen de dichas palabras está estrechamente ligado con lo inusual, un material insólito de la naturaleza, lo cual se podría aplicar al término “tierras raras” (REE).

A finales del Siglo XVIII y principios del XIX, el nombre de “tierras raras” se empleó por primera vez para aludir a los minerales cuya ubicación era extraña y que contenían elementos de tierras raras y otros metales (Flores, 2021); y que solo eran conocidos por un número reducido de personas especializadas en la cuestión (Van Gosen, Verplanck, Long, Gambogi y Seal, 2014). Posteriormente, se asoció al grupo específico de elementos que conocemos actualmente.

A partir de finales de la década de 1990, China ha sido el proveedor que ha abastecido entre el 85 y el 95% de “tierras raras” mundial y en el Siglo XXI, las tierras raras, han adquirido gran visibilidad. China, en 2010, anunció su intención de reducir las exportaciones y durante este período, el uso de las Tierras Raras aumentó considerablemente (Van Gosen, Verplanck, Long, Gambogi y Seal, 2014). Hecho que no se valora como casual.

Los objetivos estratégicos de los diferentes países, tanto del bloque oriental como occidental, son reflejo del deseo de conquistar los tres diferentes dominios principales: el comercial, el social y el territorial. Ambos bloques están en constante cambio sobre una rivalidad latente y, aunque le pese a muchos, una gran parte de la industria europea está en juego (Montesinos, 2022). Pero, como queda dicho, conocer cómo se ha llegado hasta aquí puede, en gran medida, advertir de qué podemos hacer para que no se materialice la desindustrialización de Europa:

- Entre 1960 y 1980, Estados Unidos era líder en la producción de tierras raras.
- Posteriormente, en el año 1987, el arquitecto de la apertura comercial china, Deng Xiaoping, declaró que “Oriente medio posee petróleo, pero China posee tierras raras.
- Entre los años 1980 y 1990, China aceleró la producción de tierras raras de bajo coste y consiguió, así, inundar el mercado global y destruir los posibles competidores.
- Como China se encontraba en una situación inferior que los demás países y precisaba de tiempo para ponerse, por lo menos, a la misma altura, necesitaba ralentizar a sus rivales mundiales. Por ello, tomó medidas como recurso de presión. En 2010, limitó su exportación a Japón por un conflicto marítimo o

- Entre el 2014 y el 2017, China importó el 80% de tierras raras y ha ascendido como principal productor y exportador con apoyos mediante subsidios y una regulación laxa del Gobierno.

El 15 de enero de 2021, mientras estaba creciente la guerra comercial, China comenzó a estudiar qué sucedería en el supuesto control férreo de sus exportaciones y cómo afectaría a las empresas de tecnología y defensa occidentales. Sin ser posible hacer una relación causa efecto es importante decir que, actualmente, China acumula el 37% de las reservas mundiales y es el mayor exportador mundial de tierras raras.

La perspectiva de pensamiento chino ha sido históricamente una verdadera estrategia a largo plazo. Tanto por lo descrito en los puntos anteriores, como por su valiosa visión largoplacista, no es raro que el ascenso creciente del gigante asiático consiga liderar la carrera tecnológica en los próximos años. Esto debe advertir la necesidad de un análisis y un planteamiento prospectivo; y para comprender una situación así, con tantas variables y posibles consecuencias negativas en el panorama económico mundial, no se debe mirar el pasado con los ojos presentes. Es por ello por lo que, diversos actores, especialmente la UE, se han interesado en la adquisición o búsqueda de nuevos yacimientos que incluyan estos materiales, mediante la realización de diversos planes de acción.

1.1. Metodología

Para analizar el objeto de estudio de este informe, las tierras raras y su influencia en el marco geopolítico actual desde la perspectiva europea, se ha realizado una revisión bibliográfica fundamentada en la obtención de información a través de fuentes abiertas y análisis existentes. Además, se ha trabajado con datos cuantitativos como herramienta de validez sobre la que apoyarse. Asimismo, se ha realizado un análisis propio basado en la “Técnica de Generación de Escenarios Simples” de Randolph H. Pherson y Richards J. Heuer y la “Técnica de Construcción de Análisis Accionable” de Fulton Armstrong.

1.2. Marco teórico

1.2.1. Tierras raras: Concepto y tipos

Las denominadas “tierras raras” son conocidas como minerales estratégicos debido a que tienen un gran valor y una alta demanda. Su nombre se debe a que, en el momento del descubrimiento de estos minerales, se desconocía exactamente en qué consistían (Álvarez Calderón y Trujillo Palacio, 2020).

Actualmente, a estos materiales también se les conocen como “oro verde” o “vitaminas de la industria” debido a su importancia para la transición ecológica. Estos materiales se encuentran en placas solares, imanes, motores de coches híbridos y eléctricos y, lo más importante, en los microchips. Las energías renovables y muchos

otros productos de gran importancia esenciales en el día a día también dependen de estos materiales (Méndez Ramos, s.f.).

Un porcentaje significativo de las tierras raras abunda en la naturaleza. No obstante, la aparición de estos materiales suele ser en pequeñas cantidades. Por otro lado, para que sean valiosos, estos tienen que someterse a procesos químicos y técnicos de alto coste para conseguir el porcentaje de pureza mínima, el cual varía dependiendo del mineral ya que en la naturaleza se encuentran mezclados con óxidos (Ratía, 2022).

Las tierras raras son 17 elementos químicos, el escandio, el itrio y 15 elementos pertenecientes al grupo de los lantánidos: lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio y lutecio (ver Tabla 1¹). Cabe precisar que el escandio y el itrio aparecen mezclados en los yacimientos con los lantánidos (Regueiro y González-Barros, 2019).

Tabla 1: Tabla periódica de los elementos químicos. Los elementos de las tierras raras (lantánidos y actínidos) están destacados en color verde.

Tabla 1

Las tierras raras se dividen en dos grupos:

- Tierras raras ligeras, que incluyen el lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometio y samario.
- Tierras raras pesadas, que incluyen el europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio y lutecio.

Es importante destacar que el prometio es el único material de los lantánidos que no se puede encontrar de forma natural debido a sus isótopos radioactivos², por lo que se forma mediante reactores nucleares (Portillo, s.f.).

1.2.2. La evolución de las tierras raras: descubrimiento – actualidad

Las tierras raras fueron descubiertas en el siglo XIX, con la excepción de algunas que fueron descubiertas años más tarde. Las tierras raras fueron descubiertas gracias al iterbio y al gadolinio. En un principio, el estudio de estos materiales estuvo limitado debido a la poca accesibilidad que tenían los investigadores a estos minerales.

¹ Tabla 1. “Tabla periódica”, en color verde se destacan las tierras raras (ERECON, s. f.).

² Un isótopo radiactivo es un átomo que emite radiación para alcanzar su estabilidad.

El último elemento de las tierras raras fue el lutecio, que fue descubierto en 1907. A lo largo del tiempo las tierras raras han ido cambiando, es decir, nunca han sido las mismas, por lo que pueden ir apareciendo nuevos elementos a lo largo de los años (Prego Reboredo, 2022).

1.2.3. Microchips: Concepto

Conforme a la Real Academia Española (2022) un chip es “una pequeña pieza de material semiconductor que contiene varios circuitos integrados con los que se realizan múltiples funciones en dispositivos electrónicos”. Por lo tanto, un microchip es un componente electrónico de tamaño diminuto también conocido como “circuito integrado”.

Los microchips están fabricados de materiales semiconductores. Por ello, en ocasiones reciben el nombre de semiconductores, es decir, materiales que actúan como conductores eléctricos o como aislantes eléctricos, necesarios para poder fabricar circuitos electrónicos. Estos circuitos suelen estar encapsulados por cubiertas de cerámica o de plástico con otros conductores metálicos que permiten la conexión a otros circuitos (Fernando, s.f.).

Los microchips son imprescindibles ya que se utilizan en teléfonos, ordenadores y otros aparatos electrónicos de gran importancia. No obstante, existen varios factores que hay que tener en cuenta respecto a la escasez de microchips que hay en la actualidad:

a) Factores económicos y microeconómicos:

- Escasez de recursos: las tierras raras, elementos que forman parte de los microchips, no son materiales que se encuentran con facilidad en la naturaleza y no se regeneran con el tiempo.
- Exceso de demanda: durante los inicios de la COVID-19, en el sector del automóvil, la demanda de los microchips disminuyeron pero, por otro lado, en el sector de la tecnología, gracias al aumento de la adquisición de equipos electrónicos e informáticos. hizo que aumentase la demanda de estos. Cuando las restricciones finalizaron, debido a la pronta interrupción en la cadena de suministros y el parón de algunas fábricas durante la COVID-19, el aumento de la demanda en el sector del automóvil y en el sector de la tecnología provocaron un desabastecimiento de microchips (Attinasi et al., 2021).

b) Factores ambientales:

- Heladas: una de las fábricas más grandes del mundo dedicada a la producción de microchips, ubicada en Austin (Texas), se quedó sin energía debido a las fuertes heladas a principios del año 2021, frenando así su producción.
- Sequías: uno de los elementos más importantes para poder fabricar microchips es el agua. Por ejemplo, Taiwán, uno de los mayores productores de microchips,

en el último año ha sufrido sequías dando lugar a una insuficiente disponibilidad de agua para alimentar las necesidades industriales de producción de microchips.

- Incendios: en marzo de 2021, la fábrica de Renesas Electronics, ubicada en Japón, fabricante de microchips para las marcas de coches como Nissan, Toyota y Honda sufrió un fallo eléctrico, lo que provocó un incendio, parando la producción de microchips durante un mes.

Cabe precisar que, a pesar de que estas situaciones sean eventos puntuales, debido al calentamiento global todos estos factores pueden agravarse a lo largo del tiempo (*El abuso tecnológico y de recursos naturales. . . ¿provoca falta de microchips?*, 2021).

- c) Factores geopolíticos: la escasez de las tierras raras ha llevado a que muchos países lleven a cabo estrategias específicas. Por ejemplo, en 2010, China usó las tierras raras como una medida coercitiva para obligar a Japón a cumplir con sus demandas. Por otro lado, hay minas que se encuentran en zonas de conflicto. Este es el caso de Colombia donde abunda la minería ilegal y el tráfico de estos materiales, que finalmente, la mayoría acaban en el mercado chino.

Por último, hay dos conflictos actuales a contemplar:

- El conflicto entre China y Taiwán donde se teme que China aisle a Taiwán y este no pueda exportar microchips.
- El conflicto entre Ucrania y Rusia que ha obstaculizado la cadena de suministros de tierras raras y el mercado de los microchips (Álvarez Calderón y Trujillo Palacio, 2020).

1.2.4. La evolución de los microchips

Lo primero que se descubrió fue el transistor en 1947, seguido del microprocesador en 1971, antecesor del chip. Estos años coincidieron con la tensión militar y política que se estaba viviendo entre la Unión Soviética y Estados Unidos y los primeros meses de la posguerra. Fue gracias a esto que cada país intentó descubrir nuevas cosas para utilizar en contra del otro en el ámbito de la tecnología (González Mondaza, 2014).

Los primeros chips estuvieron formados por decenas de dispositivos, a diferencia de los chips actuales, que pueden llegar hasta contener decenas de miles de millones con dimensiones muy pequeñas. La reducción de un chip a un microchip ha permitido aumentar el nivel de integración, lo que deriva en una reducción del coste de fabricación (se utilizan menos materias primas), una mayor velocidad de procesamiento y disminución del consumo energético (*Del chip a la sociedad digital: la evolución de la microelectrónica en 50 años*, 2021).

1.2.4.1. Crisis de los microchips

La crisis tecnológica de los microchips comienza en 2020, con la pandemia de la COVID-19, que ralentizó la actividad industrial mundial y obligó a buena parte de la población a confinarse. Con este escenario, surgió una demanda masiva de productos tecnológicos donde los microchips son elementos clave. La escasa oferta, debido a las restricciones de la pandemia y al cierre de múltiples fábricas, dio lugar a la actual «crisis de los microchips».

Dado que la producción no lograba alcanzar la demanda, se produjo una escasez de productos acabados. La cuarentena y el auge de las compras de productos tecnológicos como ordenadores y teléfonos móviles, además de los parones en la cadena de suministros, provocaron un crecimiento de los precios sobre estos bienes electrónicos.

En este sentido, la gran mayoría de los sectores están influidos por esta falta de semiconductores. Desde la industria del automóvil hasta la fabricación de consolas se ha visto dañada en este contexto. Con todo, pocas empresas críticas han podido hacer frente a la falta de microchips y al alza de sus precios, provocando cierres masivos y la consolidación de un oligopolio de los semiconductores sobre tres empresas en concreto.

Se alzan como empresas esenciales en la industria del microchip: la estadounidense «Intel» y la surcoreana «SAMSUNG», dedicadas al diseño de estos, y la taiwanesa «TSMC», dedicada a su producción. Así, el 80% de la producción se asienta en Asia, dando lugar a una gran dependencia del resto de continentes en cuanto a la producción de microchips clave para el progreso tecnológico.

En otro orden de cosas, cabe destacar la evolución histórica de la tecnología para comprender el estancamiento actual. Según la «Ley de Moore» por la cual cada dos años se producía una mejora sustancial en los productos tecnológicos, el gran avance actual dificulta una posible mejora temprana en los próximos dos años. Esto es, con la producción masiva de microchips de 10 nanómetros (nm) en 2019 y la consiguiente mejora sustancial de chips de 5nm en 2020 existe una paralización. Dado el escaso uso de estos chips de 5nm en la mayoría de productos tecnológicos y el estancamiento general de la fabricación de microchips, el avance tecnológico de los semiconductores se ve dificultado.

En este escenario, grandes empresas tecnológicas como Google, Amazon o Apple han procedido a invertir y diseñar sus propios chips con el fin de cubrir las necesidades de sus productos tecnológicos.

Con todo, el óptimo desarrollo tecnológico de los microchips y semiconductores se ve obstaculizado por dos factores concretos. Las escasas empresas dedicadas a esta industria y su localización concentrada en un continente, además de la complejidad de la producción de chips avanzados y baratos, suponen los factores condicionantes de esta latente «crisis de los microchips».

Como posible superación de este escenario negativo se encuentra la «Ley de Huang», que proclama una solución a la crisis de los microchips incentivando el avance tecnológico en la sinergia entre el hardware, el software y la Inteligencia Artificial (El Confidencial, 2021).

2. Situación actual de las tierras raras

2.1. Criticidad para sectores estratégicos

Según Klinger, en Japón se utiliza la expresión y metáfora siguiente: “El petróleo es la sangre, el acero es el cuerpo y las tierras raras son las vitaminas de una economía moderna” (2017, p.46; citado en Álvarez y Trujillo, 2020, p.341). Esto indica la importancia sustancial que tienen las tierras raras en el panorama internacional en general y en el progreso tecnológico en especial.

Bobba, Carrara, Huisman Mathieux y Pavel, todos ellos autores del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, comprenden, en uno de sus documentos denominado “Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU”, tres sectores estratégicos: «Energía renovable», «Movilidad eléctrica» y «Defensa y Aeroespacio». Estos engloban nueve tecnologías estratégicas que se desarrollarán en los siguientes puntos (2020, p.59).

Respecto al **sector de energía renovable**, es importante destacar que desde el prisma europeo se pretende alcanzar una sociedad con mínimas emisiones de CO₂, principalmente, mediante la implantación de la tecnología eólica y fotovoltaica³. Por ejemplo, considerando la variabilidad del viento o el sol como fuentes de energía, se centrarán los esfuerzos en el almacenamiento de energía, tales como las baterías de iones de litio y pilas de combustible que acumulan electricidad baja en carbono para su uso posterior. De igual modo, se considera que “la digitalización, innovación en robótica y fabricación aditiva” permitirán acelerar este sector siendo factores clave para aumentar la productividad y mejorar en la seguridad, accesibilidad o sostenibilidad, entre otros elementos. Así, las tierras raras juegan un papel fundamental en este caso. El praseodimio, neodimio o disprosio son claves en los imanes estables de las turbinas eólicas (Bobba, Carraca, Huisman, Marthieux y Pavel; 2020, p.61).

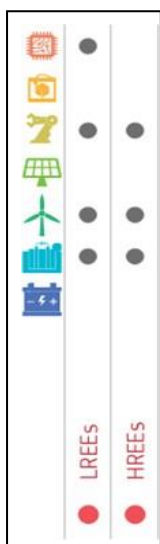


Figura 1

Existen tanto tierras raras ligeras como pesadas, con alto riesgo de suministro, que se utilizan para las energías renovables. A la izquierda, se expone una imagen donde se puede apreciar en qué tipo de aplicaciones respecto al sector de energías renovables se utilizan las tierras raras (ver

³ Se estima que en el horizonte 2050 las fuentes de energía renovables serán el proveedor de más del 80% de la electricidad producida en la UE y la electricidad cubrirá la mitad de la demanda final de energía en la UE. Ver imagen en Anexos sobre “el consumo interior bruto de energía en la UE para varios plazos y escenarios”.

Figura 1⁴).

Entre 2030 y 2050 se espera un cambio en el consumo, en comparación con el actual, de tierras raras para baterías, pilas de combustible, turbinas eólicas y fotovoltaicas concretamente de **neodimio y disprosio**⁵.

Respecto al **sector de la movilidad eléctrica**, la forma en la que nos desplazamos y cómo vivimos está variando por una gran lluvia de nuevas tecnologías (JRC, 2019b, citado en Bobba, Carraca, Huisman, Marthieux y Pavel; 2020, p.66). A pesar de que aún hay una alta incertidumbre en lo que a las nuevas tecnologías del sector movilidad eléctrica se refiere, la aplicabilidad efectiva de los objetivos de emisiones a largo plazo puede variar significativamente la adopción de los vehículos eléctricos de pila de combustible (FCEVs). Como se puede apreciar en la siguiente imagen (ver Figura 2⁶), la previsión aproximada en la variación de la tecnología de los vehículos en la Unión Europea en el horizonte 2015-2050, conduce a pensar que existirá una pérdida en la utilización de la gasolina, incluidos los híbridos suaves, del diésel y un aumento de los vehículos híbridos diésel o gasolina eléctricos (Harrison y Thiel, 2017, citado en Bobba, Carraca, Huisman, Marthieux y Pavel; 2020, p.65).

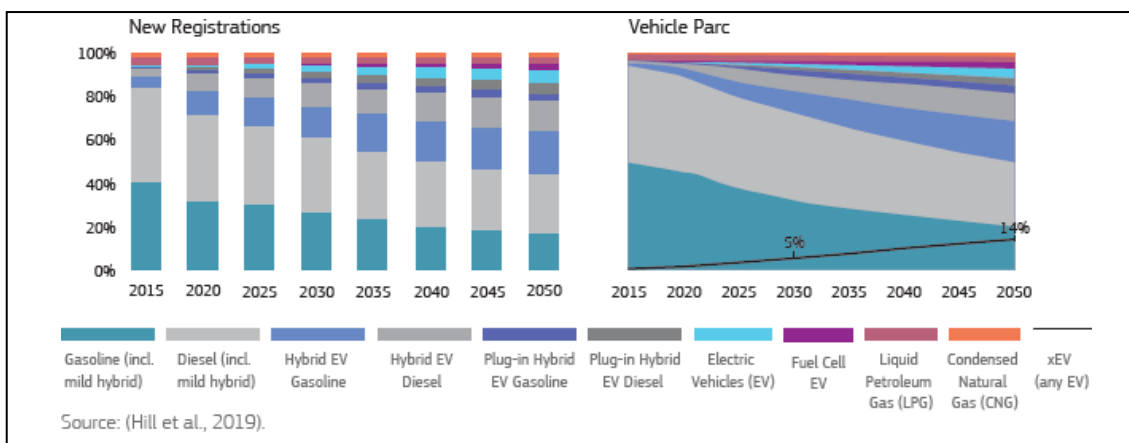


Figura 2

Para 2050, elementos como “las baterías, las pilas de combustible, los motores de tracción y las tecnologías de las TIC” permitirán un cambio a una movilidad limpia, conectada y con mínimas emisiones de CO₂. La evolución en la robótica, impresión en 3D de materiales ligeros, así como las tecnologías digitales, serán catalizadores de una evolución en la movilidad europea. Una alta cantidad de motores de coches eléctricos estarán conformados por algunas tierras raras como el neodimio, el disprosio y el praseodimio.

⁴ Figura 1. “Tipo de aplicaciones respecto al sector de «energías renovables» donde se utilizan las tierras raras (Bobba et al, 2020, p.61).

⁵ Observar en Anexos. “Uso en aplicaciones de defensa y riesgo de suministro de materias primas utilizadas por la industria de defensa de la UE”.

⁶ Figura 2. “Previsión aproximada en la variación de la tecnología de los vehículos en la Unión Europea en el horizonte 2015-2050 (Bobba et al, 2020, p.65).

Respecto al **sector Defensa**, se destaca que la Unión Europea está formada por un número significativo de fabricantes de muchas aplicaciones de defensa clasificados en el sector aéreo, naval, terrestre, espacial, electrónico y de misiles (JRC, 2016b, citado en Bobba, Carraca, Huisman, Marthieux y Pavel; 2020, p.69). Los materiales de las aplicaciones en el sector Defensa son considerados estratégicos (Danino-Perraud, 2019) y el acceso concreto a las materias primas pertinentes es de gran importancia. Algunas de estas materias primas indispensables son las tierras raras. La utilización de estas para “los sistemas de aviones pilotados a distancia, las municiones de guía de precisión, los láseres de puntería y las comunicaciones por satélite” hace de ellas un objetivo estratégico para diferentes países. El hecho de que se ubiquen en gran proporción en China provoca una preocupación por la seguridad y por las posibilidades de interrupción de suministro. Existen 39 materias primas esenciales para la producción de estos materiales de defensa, entre ellas se encuentran: el disprosio, samario, neodimio, itrio, praseodimio y otras tierras raras. La Unión Europea importa completamente 13 de esas 39 materias primas que son el boro (como boratos), disprosio, oro, magnesio molibdeno, neodimio, niobio, praseodimio, samario, tantalio, titanio, itrio y otros REE (o Rare Earth Elements), siendo el sector de la aeronáutica y el de la electrónica los más vulnerables⁷.

2.2. Medios de extracción y separación

Uno de los principales problemas de las tierras raras es su dificultad de obtención. El gran coste de extracción, su impacto medioambiental y la complejidad de encontrarlas en su forma pura son algunos de los inconvenientes que hacen del proceso de adquisición un trabajo dificultoso. La minería es uno de dichos procesos tradicionales, pero excesivamente complejo por su lentitud o contaminación. Por ende, en la actualidad se contemplan otro tipo de medios (Alcalde, 2022, p.1).

La obtención de las tierras raras en un estado muy puro se ha incrementado exponencialmente para su utilización en tecnologías avanzadas. Las técnicas convencionales no permiten alcanzar dicho estado y el desarrollo de diferentes técnicas para su separación, obtención o procesado de recursos minerales contenidas en ellos se ha convertido en una necesidad imperiosa (Alguacil y Rodríguez, 1997, p.187).

Actualmente se podría indicar que en la naturaleza existen más de 200 minerales que contienen en su composición tierras raras. Un equipo de la Universidad de Rice Houston (Texas), teniendo en cuenta la dificultad en su adquisición, ha encontrado un procedimiento, más eficaz que los utilizados actualmente, para extraer tierras raras. Este se realiza mediante pulsos de calor provocados por corriente eléctrica. Este hecho daría lugar a que el proceso de extracción fuese menos perjudicial para el medio ambiente (Alcalde, 2022).

⁷ Ver imagen en Anexos. “Uso en aplicaciones de defensa y riesgo de suministros de materias primas utilizadas por la industria de defensa de la UE”.

Las tierras raras presentes en los minerales se separan posteriormente a su extracción en minas mediante una lixiviación ácida o alcalina en medios acuosos como en nitrato, sulfato y cloruro. De igual modo, los procesos de separación y extracción tradicionales son los de separación fotoquímica, cambio de ion, extracción supercrítica o extracción con disolventes. Para el refinado se utilizan diversas técnicas como la cristalización y precipitación fraccionada con disolventes o intercambio iónico. Actualmente se está invirtiendo para el desarrollo de nuevos procesos de extracción y separación (Alguacil y Rodríguez, 1997, p. 187-191).

2.3. Aplicaciones tecnológicas

El desarrollo, la historia y la evolución de la humanidad están directamente relacionados con la utilización de los materiales. Concretamente, aquellos que se comenzaron a utilizar 50 años atrás se les consideran materiales avanzados y fueron fundamentales para dar lugar a la revolución industrial y una sensible mejora en la calidad de vida de las personas. Algunos de los elementos químicos que se encuentran en este tipo de materiales y los permiten armar son las tierras raras (Puche, Cascales, Porcher y Maestro, 2000, p.11)

Por ello, la aplicabilidad de las tierras raras es variada, concretamente en el sector de las tecnologías. El hecho de que entre sus rasgos se encuentre un alto magnetismo como consecuencia de la aleación con otros metales o por su fluorescencia permite su utilización en la electrónica de última generación: superconductores, industria armamentística, iluminación “led”, láseres, drones, etc. Por ejemplo, en el ámbito militar sirven para la fabricación de gafas de visión nocturna, equipos de transmisión o armas guiadas con precisión. “Son elementos críticos e insustituibles en muchas de sus aplicaciones” (Sainz Burón, 2016, p.18).

Gonzalo Sirvent (2012, p.7) afirma que existen otros usos en la vida civil de estas tierras raras. Por ejemplo: en la medicina, el itrio, neodimio, terbio, gadolinio, tulio y holmio sirven para la curación de determinados cánceres, resonancias magnéticas, tomografía axial computarizada (TACs), rayos X, láseres e instrumental quirúrgico; en nuevos procesos de refinado de petróleo, el lutecio; para motores diésel, el cerio; para las luces de alta intensidad, el escandio; células de combustible, el terbio; superconductores a temperaturas muy bajas, el itrio; superconductores a altas temperaturas, el tulio o el lantano; para aleaciones en motores de aviación, el praseodimio; o para los reactores nucleares, el samario, europio, gadolinio, disprosio y holmio.

A título de ejemplo, comentar que entre los materiales que se utilizan para la construcción del caza de combate francés “Rafale” se encuentran tierras raras como el neodimio o el itrio para los sistemas electro-óptico u otras para los sensores y la electrónica⁸ (Bobba, Carraca, Huisman, Marthieux y Pavel; 2020, p.75). Así mismo, en

⁸ Observar la imagen en los Anexos. “Materiales utilizados en diferentes partes del avión de combate Rafale”.

los vehículos eléctricos existen materiales conformados por tierras raras como el cerio para el vidrio cortado con rayos UVA, polvo para pulir vidrios y espejos, pantalla de cristal líquido (además, del europio o itrio), convertidor catalítico o aditivo para el gasóleo; el neodimio para el vidrio de los faros, para el motor eléctrico híbrido y generador (además del praseodimio, terbio y disprosio, en este caso); el lantano para el convertidor catalítico, baterías de níquel-hidruro metálico (NiMH) o aditivo para el gasóleo; entre otras aplicaciones posibles (Molycorp Inc. 2010, citando en Sainz Burón, 2016, p.18).

3. Situación actual de los microchips

3.1. *Criticidad para sectores estratégicos*

En primer lugar, cabe mencionar que algunos de los elementos que componen el chip, al igual que los incluidos en la maquinaria necesaria para su fabricación, están presentes en las tierras raras.

Con esto, se deduce que aquellos sectores estratégicos críticos europeos para las tierras raras también lo son para los microchips. Por tanto, los sectores estratégicos de las «renovables», la «movilidad eléctrica» (o «e-mobility») y la «defensa y aeroespacio» son objeto de estudio para los chips. En este aspecto, además de influir en el campo de la defensa y aeroespacio, los microchips se tornan trascendentales en el ámbito militar en general. Cabe señalar que el silicio, material fundamental semiconductor de los microchips, se sitúa como un material crítico de “riesgo bajo” por lo que la criticidad recae sobre los sectores críticos de las tierras raras (Bobba, Carraca, Huisman, Marthieux y Pavel, 2020).

En el caso de las **energías renovables**, los microchips son esenciales para el funcionamiento de los artefactos que posibilitan la creación de esta energía. Así, son piezas fundamentales de las torres de energía eólica, paneles solares y turbinas hidráulicas (del Castillo, 2021).

Por otro lado, en cuanto a la **movilidad eléctrica**, el amplio desarrollo de la electrificación y electrónica en el sector de la movilidad y los transportes ha colocado al microchip como una pieza fundamental de este sector. En este campo, el automóvil ofrece un claro ejemplo de la situación insostenible del microchip y las tierras raras, pues la fabricación y desarrollo de los vehículos digitales y eléctricos les convierte en objetos dependientes de las tierras raras y de su intensa explotación. Unas tierras raras que, como se explica a lo largo de todo el documento, significan materia prima de “riesgo muy alto” de entrar en rotura de suministros⁹ (Comisión Europea, 2020).

⁹ Rotura de suministro o stock hace referencia a la falta de mercancía por parte de la empresa a la hora de atender la demanda de los clientes sobre un producto determinado. En este caso, la falta de microchips, semiconductores y tierras raras necesarias para su fabricación, concluye en una alta demanda de productos electrónicos y una oferta escasa de los mismos, dando lugar a una falta de respuesta a los pedidos de esos clientes.

Terceramente, la **defensa y tecnología aeroespacial**, y el sector **militar** en general, son otros de los sectores críticos influenciados por la crisis de los microchips. La histórica evolución del armamento militar ha venido marcada por la miniaturización y progreso de la electrónica. Por ende, la inversión actual en material militar avanzado recae en los chips. Esta situación se visualiza en la carrera armamentística actual entre China y EE. UU: la necesidad de semiconductores para el perfeccionamiento y mejora de las armas dependen de chips aún más avanzados. De esta forma, se torna trascendental la inversión e independencia en el diseño y fabricación de microchips de última generación (Lucio, 2022).

Otro caso que muestra la dependencia del sector militar hacia los microchips surge con las sanciones a Rusia a causa de la guerra en Ucrania. La dependencia del armamento militar ruso hacia microchips y materiales semiconductores extranjeros ha dado lugar a que, tras la imposición de una serie de sanciones basadas en el corte de suministros de estos equipos y materiales, Rusia haya tenido que abrir rápidamente otra vía de abastecimiento. Así, el microchip se torna fundamental para el uso y optimización de los equipos militares actuales y del futuro (Jiménez, 2022).

3.2. Aplicaciones tecnológicas

En cuanto a las aplicaciones tecnológicas, destacando que los microchips están integrados en todo artefacto y proceso electrónico actual, cabe resaltar dos áreas de crecimiento que monopolizan la inversión de las empresas dedicadas al diseño y fabricación de chips. Además, el ámbito militar se alza como tercer grupo donde el microchip tiene una gran influencia en cuanto a la optimización de sus tecnologías.

Primeramente, se sitúa la «**conectividad y movilidad**». El desarrollo de las tecnologías de telefonía móvil de quinta generación (5G) ha dado lugar a la necesidad de nueva fabricación de microchips más avanzados. La considerable mejora de este progreso de la telefonía móvil en materia de mayor velocidad de transferencia de datos, mejor latencia y antenas hábiles que dan servicio a más terminales a la vez que la anterior tecnología 4G, precisan de una mejora de los circuitos electrónicos que integran los equipos de telefonía móvil (Soriano Ibarra, 2022).

En cuanto a la movilidad, la ya descrita «movilidad eléctrica» y, sobre todo, la incluida en el sector automovilístico, precisa de una mayor inversión en la fabricación de microchips. El aparente crecimiento de la demanda de automóviles eléctricos a medio y largo plazo ha dado lugar a la creación, por parte de empresas dedicadas al microchip como «Intel», de plataformas de computación automática y abierta para el uso por parte de los fabricantes de coches en su objetivo de maximizar la eficacia del software de sus vehículos. Además, otras empresas especializadas en la fabricación de semiconductores también han creado departamentos específicos para el campo del automóvil. Así, se visualizan movimientos financieros y de capital fijo por parte de las empresas de microchips y semiconductores hacia su aplicación en el campo del automóvil eléctrico (López, 2022).

En segundo lugar, se encuentra la **computación**. La aplicación tecnológica que protagoniza el chip en este sector recae en la interconexión entre las Unidades de Procesamiento Gráfico o GPU y la Inteligencia Artificial. En cuanto a las GPU, el desarrollo de este coprocesador permite aligerar la carga del trabajo del microprocesador central del sistema informático pertinente en materia de gráficos, para aplicaciones como los videojuegos o aplicaciones 3D interactivas. De esta forma, mientras la GPU se encarga de los gráficos, la CPU o Unidad Central de Procesamiento puede dedicarse a otros cálculos como la IA (Chamberlayne y Clode, 2022).

En este sentido y poniendo el foco en la actualidad sobre Inteligencia Artificial, la *start up* «Cerebras Systems» ha desarrollado un sistema que entrelaza 192 chips y permite el entrenamiento de extensas redes (que funcionan como una red neuronal) cuya finalidad es realizar funciones de IA sin afectar el potencial computacional durante el proceso. En conclusión, han implementado un nuevo proceso de fabricación de microprocesador que duplica la capacidad de proceso de otros chips y que le permite acumular más datos a la vez. De esta forma, aunque por el momento no se han conseguido éxitos absolutos, la extensa red neuronal necesaria para el desarrollo de la IA puede ser gestionada en un futuro por la optimización de este modelo a escala chip (ComputerWorld, 2021).

Por último, haciendo alusión al sector militar, existen múltiples aplicaciones del microchip en tecnologías armamentísticas. Los ejemplos son varios, desde chips de localización en culatas de armas hasta los lanzadores de cohetes múltiples más avanzados¹⁰. La continua sucesión de conflictos en todo el mundo además de la carrera armamentística actualmente liderada por China y EEUU propone un auge del desarrollo del microchip para su aplicación en las tecnologías militares (Shivakumar y Wessner, 2022).

4. Estrategia de la Unión Europea

Las materias primas críticas desempeñan un papel importante en la economía de la Unión Europea, pero también están sujetas a un alto riesgo de oferta (Reisch, 2022). Como resultado de la transición energética y la digitalización, la demanda de dichas materias está aumentando drásticamente. Al mismo tiempo, los mercados de materias primas están particularmente tensos debido a, en primer lugar, la crisis de microchips derivada de la pandemia de la COVID-19 y, en segundo, a la guerra en Ucrania y la escasez de suministros.

¹⁰ Este es el caso del lanzacohetes Tornado-S ruso de última generación. En la actual guerra en Ucrania la utilización de este artefacto militar se ha visto comprometida por la falta de microchips, por lo que han tenido que averiguar una vía de sustitución a este elemento electrónico.

La creciente necesidad de suministro de las materias primas críticas se debe al rápido desarrollo de tecnologías, las innovaciones emergentes, la movilidad eléctrica, las tecnologías de inteligencia artificial y la transición energética global (Leader et Gaustad, 2019). Así, las materias primas críticas se han convertido en uno de los principales desafíos económicos para la UE. Debido a la creciente dependencia de las importaciones y al riesgo asociado de interrupciones del suministro de terceros países, es necesario fomentar su producción y reciclaje dentro del bloque comunitario.

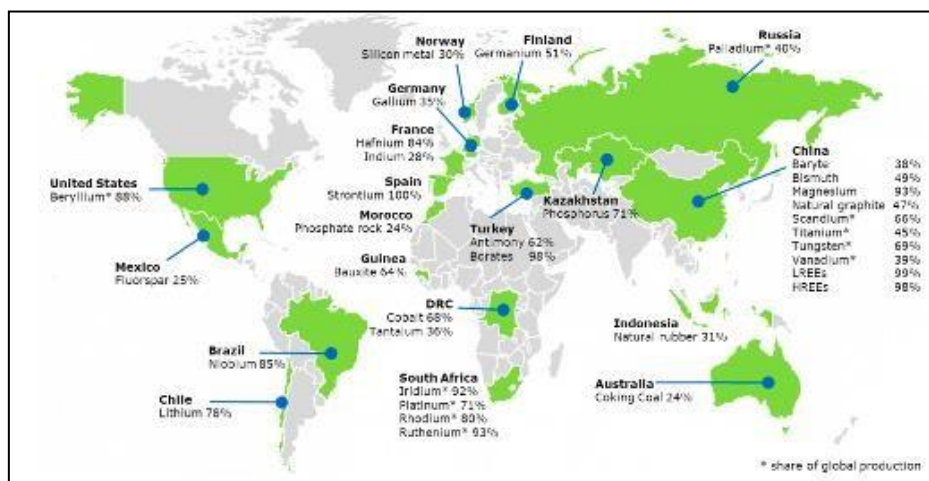


Figura 3

Por ello, asegurar el suministro de materias primas críticas es esencial para el desarrollo del sector industrial estratégico en la UE. El aumento previsto de la demanda de muchas de las materias primas críticas, acompañado de la creciente competencia de otros consumidores en el mercado mundial, plantea preocupaciones sobre si los suministros futuros serán suficientes para satisfacer las necesidades futuras de la UE (ver Figura 3¹¹ sobre países que ofertan materiales críticos a la UE).

La Comisión Europea ha señalado en diversas ocasiones la relevancia estratégica de las tierras raras para la industria europea. La demanda de elementos de tierras raras utilizados en imanes permanentes, por ejemplo, de vehículos eléctricos, tecnologías digitales o generadores eólicos, se prevé que se multiplique por cinco en 2030 y por diez para 2050 (Comisión Europea, 2022).

Esta creciente preocupación por la posible limitación de los suministros minerales para la economía de la UE dio lugar al lanzamiento de la «Iniciativa de Materias Primas» en 2008 (Comisión Europea, 2008) y el «Plan Estratégico de Implementación» (SIP) de la «Asociación Europea para la Innovación» (EIP) sobre materias primas en 2013 (Comisión Europea, 2013). Han sido seguidas por numerosas acciones de investigación e innovación, especialmente financiadas en el marco del Programa Horizonte 2020, con el objetivo de permitir el acceso a los minerales de los recursos primarios, así como el desarrollo de opciones de reciclaje y sustitución, como

¹¹ Figura 3. “Países que representan la mayor parte de la oferta de Critical Raw Material (CRM) de la Unión Europea.

parte de una economía circular y eficiente en el uso de los recursos planteadas en el Pacto Verde.

La Unión Europea aspira a reducir la dependencia de las importaciones de materias primas que son críticas para sus industrias, especialmente de China, entre otros objetivos, mejorando el acceso y la utilización de sus recursos primarios existentes y aumentando las actividades de reciclaje (Endl, 2017). Al mismo tiempo, se ha prestado especial atención a los elementos clave del desarrollo sostenible: el desarrollo ambiental, económico y social, promovidos en el Pacto Verde (Smol et al., 2020). La sostenibilidad medioambiental y ecológica de los proyectos relativos a la extracción y procesamiento de las tierras raras es fundamental para la UE, a diferencia de países como China, que disfrutan de una legislación medioambiental más laxa, lo que supone menos impedimentos a la hora de regular las actividades relativas a dichas tierras. Sin duda, esto supone una limitación adicional para la UE para proveerse de materias primas críticas.

4.1. La Estrategia Industrial de la UE («EU Industry»)

En 2019, el Consejo Europeo estableció el objetivo de redefinir la política industrial comunitaria para que la industria de la UE se vuelva "más sostenible, más verde, más competitiva internacionalmente y más resiliente", con el objetivo de aumentar no solo la competitividad de la industria, sino también su autonomía y resiliencia (Comisión Europea, 2019).

En 2020, la Comisión Europea aprobó la estrategia «EU Industry», con el objetivo de buscar crear un nuevo modelo industrial para Europa mediante el desarrollo de nuevas alianzas industriales. La estrategia destaca tres motores de la transformación de la industria de la UE: la transición verde, la transición digital y la competitividad internacional. En el contexto del aumento de las dependencias estratégicas que afectan a los intereses centrales de la UE, en particular la salud, la seguridad y la protección, así como el acceso a materias primas y tecnologías clave, la Comisión Europea destaca la necesidad de fortalecer la autonomía estratégica de la UE a través de acuerdos con socios internacionales con puntos de vista similares, así como alianzas industriales en áreas estratégicas.

Ese mismo año, la crisis de la COVID-19 puso de manifiesto una serie de debilidades de la UE, por lo que, en mayo de 2021, la Comisión Europea actualizó la «EU Industry 2020» a través de una nueva Comunicación. Esta se centra en las debilidades de la industria del bloque comunitario y un análisis de seis áreas estratégicas en las que la UE depende de proveedores extranjeros: materias primas, pilas y acumuladores, productos farmacéuticos, hidrógeno, semiconductores, tecnologías en la nube y tecnologías punteras. Asimismo, la actualización identifica una serie de objetivos y soluciones viables, destacando tres impulsores para la transformación de la industria comunitaria:

- 1) la transición ecológica, respaldada por el «Pacto Verde Europeo», la estrategia de crecimiento de la UE;
- 2) la transición digital, que permite que la industria y las pymes sean más proactivas, brinda nuevas habilidades a los trabajadores y apoya la descarbonización de la economía;
- 3) la competitividad en el escenario internacional, con la UE necesitando aprovechar el impacto de su mercado único para establecer estándares en todo el mundo. En este sentido, el documento adopta el programa del mercado único de la UE para el periodo 2021-2027, con objetivos como aumentar la eficiencia del mercado único, apoyar la competitividad de las empresas de la UE, especialmente las PYME o facilitar el desarrollo de normas europeas de alta calidad, entre otros.

Es destacable el papel del «Pacto Verde Europeo», lanzado en 2019 por la Comisión Europea, con el objetivo de que la UE sea climáticamente neutra para 2050. El Pacto Verde supone una serie de condiciones en el desarrollo de la estrategia industrial europea:

- **Un mercado único y una coordinación eficaz.** En la UE hay multitud de iniciativas de política industrial "verde", adoptadas a nivel regional, nacional y comunitario, pero que no están coordinadas y generan fragmentación del mercado único e incluso perturbación de la igualdad de condiciones. Un mercado fragmentado en tecnologías verdes, por ejemplo, impide que las empresas innovadoras en este campo logren las economías de escala logradas por competidores en EE. UU. o China. El mercado de la UE debe volverse verdaderamente único y con estándares ambientales comunes.
- **La política industrial "verde" requiere innovaciones e inversiones masivas.** Se necesitan más proyectos piloto y experimentos para generar “innovaciones revolucionarias”, para las que es necesario movilizar importantes recursos financieros.
- **Colaboración público-privada y revisión de las normas sobre ayudas estatales.** Las alianzas europeas impulsan la cooperación entre los sectores público y privado. Tales alianzas no solo se enfocan en el proceso de producción, sino que apuntan a toda la cadena de valor.
- **La política industrial verde de la UE debe ir más allá de las fronteras de la Unión,** para lo cual se necesitan alianzas. En 2018, la Comisión Europea lanzó el «Instrumento de Vecindad, Cooperación al Desarrollo y Cooperación Internacional» (IVCDCI), el cual incluye Cooperación de la UE con todos los terceros países, permitiendo así que la UE defienda y promueva de manera efectiva sus valores e intereses en todo el mundo.

Si bien todas las alianzas industriales deben tener en cuenta la dimensión de las materias primas, la Unión Europea también precisa desarrollar una alianza industrial dedicada a cadenas de valor específicas de las mismas. Esto es, debido a que se enfrentan a desafíos particulares como los mercados globales altamente concentrados,

las barreras de inversión e innovación y la necesidad de mejorar la transparencia y la sostenibilidad. Lograr la seguridad de los recursos es una cuestión clave para el desarrollo económico y los objetivos de la política climática de la UE.

4.2. Plan de Acción sobre Materias Primas Críticas

La Comisión Europea publicó en septiembre de 2020 la cuarta lista de materias primas críticas y su plan de acción para promover cadenas de suministro de materias primas resilientes (Comisión Europea, 2020). Sobre la base de la «Iniciativa de las Materias Primas» de la UE, el documento presenta los desafíos que plantea un suministro seguro y sostenible de materias primas fundamentales y las acciones dirigidas a incrementar la resiliencia y la autonomía estratégica de la UE.

La Comisión considera fundamentales o críticas aquellas materias primas que tienen una importancia económica crucial pero no pueden obtenerse de forma fiable dentro de la UE y, por lo tanto, deben importarse en su mayor parte. A fin de seguir garantizando las existencias europeas de materias primas fundamentales, el documento señala que los entes locales y regionales deberán desempeñar un papel esencial, puesto que será preciso aumentar la extracción de materias primas en el territorio europeo y mejorar su reciclado, tal y como recoge el Plan de Acción sobre las Materias Primas Fundamentales.

El plan proyecta, fundamentalmente, una serie de medidas que debe adoptar la UE para proteger las cadenas de suministro de las materias primas fundamentales y cómo reducir su dependencia con respecto a terceros países. Así, las medidas deben enfocarse, principalmente, en los siguientes puntos (Comisión Europea, 2020):

- Actualmente existen deficiencias en las cadenas de suministro de materias primas. Es preciso adoptar planteamientos estratégicos para obtener un almacenamiento adecuado y evitar interrupciones inesperadas en la producción y en el suministro. También son necesarias fuentes de suministro alternativas, así como asociaciones más estrechas entre las partes interesadas que trabajan con las materias primas fundamentales.
- Las economías modernas con cadenas de valor muy amplias no pueden funcionar a largo plazo sin un suministro de materias primas seguro, competitivo y respetuoso con el medio ambiente. El objetivo es reducir la dependencia de la UE de las materias primas fundamentales mediante un uso más eficiente de los recursos, la utilización de productos sostenibles y la innovación. Debe apoyarse política y económicamente la obtención de materias primas en la UE y la diversificación de las compras a terceros países.
- En cuanto a las implicaciones medioambientales, la economía circular permitirá las mejoras en la eficiencia del uso de las materias primas y en los procesos de producción posteriores, que son de suma importancia, ya que pueden conciliar de manera óptima los objetivos de competitividad y de sostenibilidad medioambiental. Por lo tanto, los materiales reciclados deberían utilizarse en

mayor medida para reducir el uso de materias primas, tanto primarias como fundamentales. Esta petición se dirige simultáneamente a los fabricantes, los comerciantes y los consumidores. Las normas sociales y medioambientales, así como la trazabilidad de las cadenas de suministro y de comercio, deben salvaguardarse mediante la firma de acuerdos internacionales.

Mediante este plan, Bruselas también designó la «Alianza Europea de las Materias Primas» (ERMA) (Comisión Europea, 2020), con el objetivo de identificar barreras, oportunidades y opciones de inversión para desarrollar la capacidad en todas las etapas de la cadena de valor de las materias primas, desde la minería hasta la recuperación de residuos. El Plan de Acción examina los desafíos actuales y futuros y propone acciones para reducir la dependencia de terceros países que tiene Europa, diversificando el suministro desde fuentes tanto primarias como secundarias y mejorando la circularidad y la eficiencia de los recursos, a la vez que se fomenta el abastecimiento responsable en todo el mundo.

4.3. La Ley de Chips de la Unión Europea

El 8 de febrero de 2022 la Comisión Europea propuso la «Ley Europea de Chips» (Comisión Europea, 2022), consistente en una serie de medidas para asegurar que la UE disponga de las herramientas necesarias para garantizar su suministro de semiconductores y reducir su dependencia, al mismo tiempo que fomenta la resiliencia y competitividad europea.

Con la nueva Ley de Chips, la Unión Europea destinará 43.000 millones de euros de inversiones públicas y privadas con el fin de reforzar las cadenas de suministros y anticipar las potenciales amenazas que puedan afectar a las mismas. Asimismo, asignarán 11.000 millones de euros para investigación y desarrollo para la innovación y mejora de las capacidades de producción de toda la cadena de valor de los semiconductores. La inversión pública se organizará a través de la Iniciativa Chips para Europa, que reunirá los recursos de la Unión, de los Estados miembros y de terceros países asociados a los programas de la Unión existentes, mientras que el sector privado se organizará a través de la «Empresa Común Chips». Adicionalmente, un Fondo de Chips facilitará el acceso a la financiación de las empresas emergentes para ayudarlas a madurar sus innovaciones y atraer inversores.

Asimismo, se creará un mecanismo de coordinación entre los Estados miembros y la Comisión para supervisar la oferta y demanda de semiconductores y adelantarse a una posible disrupción de la cadena de valor. También se prevé la realización de una evaluación común de crisis para reaccionar rápida y conjuntamente en la coordinación de las medidas necesarias para mitigar las deficiencias.

Con la ayuda de la Ley de chips, la UE busca alcanzar su **meta de la Década Digital de 2030** de disponer del 20% de la cuota de mercado mundial de los chips de aquí a 2030, en comparación con solo el 10% actual (Comisión Europea, 2022).

Adicionalmente, la UE ha puesto en marcha numerosos proyectos y grupos de expertos relacionados con estas cuestiones como, por ejemplo, «EO-MINERS», «EU-RARE», «FORAM», «GeoERA», «INTRAW», «MICA», «MINATURA2020». A pesar de que la minería puede traer beneficios positivos y nuevas oportunidades de crecimiento a los países receptores, así como a las economías regionales y a las comunidades locales afectadas, las actividades mineras también pueden tener un costo para el medio ambiente, incluidas las cuestiones de biodiversidad y conservación.

4.3.1. Proyecto EURARE

EURARE fue un proyecto desde 2013 a 2017 financiado por la Comisión Europea para el desarrollo de un plan de explotación sostenible para los yacimientos de minerales de tierras raras de Europa. El objetivo era sentar las bases para el desarrollo de una industria de minerales de tierras raras europea que salvaguardara el suministro ininterrumpido de materias primas y elementos de tierras raras cruciales para los sectores industriales de la economía de la UE, como la automoción, la electrónica, la maquinaria y los productos químicos, de forma sostenible, económicamente viable y respetuosa con el medio ambiente (Eurare Project, 2013).

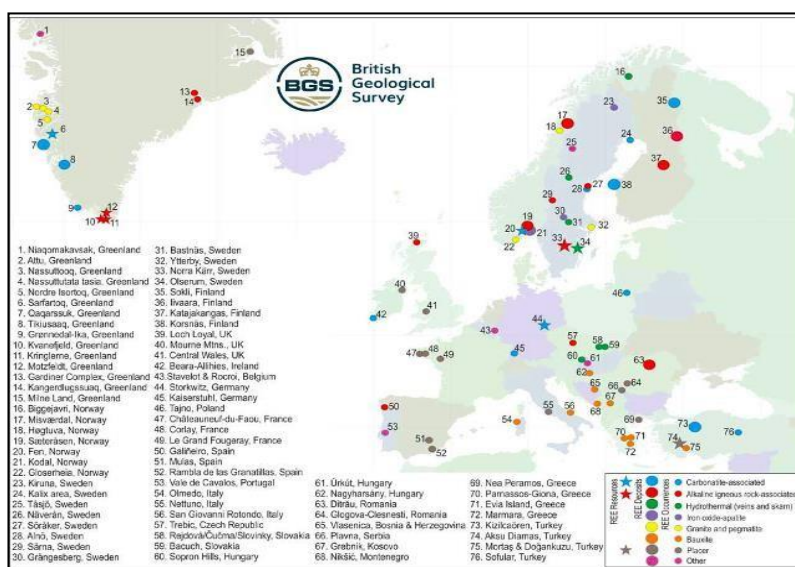


Figura 4

El proyecto elaboró un mapa en el que señalan 76 yacimientos y depósitos de tierras raras en Europa (sin incluir Rusia pero sí Turquía). Siete de ellos son depósitos que han sido explorados y han destacado por su potencial: tres en Escandinavia (Fen en Noruega y, en Suecia, Norra Kärr y Olserum), Groenlandia (Sarfartoq, Kvanefjeld, Kringleme y Motzfeldt) y Alemania (StoStorkwitz) (ver Figura 4¹² que muestra un mapa de recursos de tierras raras en Europa gracias al «Proyecto EURARE»). Destaca especialmente, para Europa, el caso de Groenlandia como principal suministro de futuro, ya que esta región autónoma de Dinamarca tiene un gran potencial para convertirse en el principal suministrador de tierras raras en el futuro, mediante el «Proyecto Kvanefjeld», que prevé que pueda llegar a suministrar un 25% de la demanda

¹² Figura 4. “Mapa de recursos y depósitos de tierras raras en Europa por el «Proyecto EURARE».

mundial. El proyecto está liderado por la empresa australiana Greenland Minerals, donde la empresa china Shenghe Resources tiene participación. Otro proyecto que destaca, en menor medida, es el «Norra Kärr» en Suecia, que está siendo explotado por Tasman Metals Ltd.

EURARE considera que estos siete depósitos pueden asegurar el suministro de la UE durante décadas. Sin embargo, este tipo de explotaciones requieren mucha inversión, por lo que desde el proyecto se defiende que la Unión Europea debería concentrarse únicamente en Groenlandia y Suecia (Prego Reboredo, 2022).

4.3.2. Proyecto ERECON

El «European Rare Earths Competency Network» (ERECON) es un proyecto lanzado en 2013 por la Comisión Europea que reúne a expertos de la industria, la academia y la formulación de políticas, que ha buscado en los últimos dos años formas de mejorar la seguridad del suministro de tierras raras en Europa. Con sus tres grupos de trabajo, ERECON se ha centrado en las oportunidades de suministro primario en Europa a través de la eficiencia de los recursos y el reciclaje, y manteniéndose a la vanguardia mediante la identificación de futuras tendencias de suministro y desafíos para las industrias de usuarios finales de Europa (Comisión Europea, 2013).

El proyecto concluyó que el reciclaje podría proporcionar una fuente valiosa de tierras raras para Europa, pero se deben superar varios desafíos para que el reciclaje sea viable a gran escala. Adicionalmente, en contraste con la percepción pública, el proyecto defiende que también existe un gran potencial para la minería de tierras raras en Europa, particularmente en Suecia y Groenlandia. Con la financiación y los permisos adecuados, la minería podría asegurar el suministro europeo de tierras raras durante décadas.

No obstante, destacan que los obstáculos principales para poner en producción las minas de tierras raras en Europa incluyen el desarrollo de un modelo comercial viable para el procesamiento posterior, permisos ambientales y falta de acceso al capital social fundamental. No hay mercados para concentrados mixtos de tierras raras fuera de China, por lo que las aspiraciones europeas de extracción deben intentar desarrollar sus propias plantas de separación, técnicamente complejas y que implican un gran capital, o cooperar con las instalaciones existentes. Fuera de China, tales instalaciones existen actualmente solo en Francia, Estonia, Malasia, Japón y EE. UU. De igual manera, la Unión Europea debe mitigar los impactos medioambientales, incluidos los problemas de radiactividad, un desafío clave para los proyectos de explotación, en particular aquellos con altas concentraciones de uranio y torio (Salla et al., 2015).

4.3.3. Proyecto MATAMULAS

El «Proyecto MATAMULAS» tenía como objetivo la explotación de las Concesiones Matamulas y Rematamulas en Ciudad Real, un yacimiento rico en monacita gris, que es un fosfato de tierras raras. El proyecto propuso la recuperación de este mineral en forma de un único concentrado e incluía la construcción de una planta

de tratamiento para procesar el mineral procedente de la zona de explotación. No obstante, el proyecto no pudo llegar a desarrollarse, ya que fue rechazado por el gobierno de Castilla La-Mancha al afectar al hábitat de especies protegidas como el lince ibérico, el águila imperial y el milano real. Posteriormente, este rechazo fue ratificado por el Tribunal Superior de Justicia de Castilla-La Mancha, que sentó jurisprudencia sobre los impactos de la minería en espacios protegidos.

El hallazgo del yacimiento fue realizado por la empresa Quantum Minería, que sigue sosteniendo aún hoy la viabilidad del proyecto judicialmente paralizado. La empresa señala que en Europa la producción de tierras raras es nula por lo que, a través de este proyecto, España podría liderar el mercado de tierras raras en Europa, dado que la Unión Europea declaró a las tierras raras objetivo prioritario. Con el proyecto MATAMULAS, defienden que podrían alcanzar una producción de 2.100 toneladas al año, lo que supondría más de un 33% de lo que necesita Europa al año (Mucha, 2019).

5. Tierras raras y la UE: otros actores y sus relaciones

5.1. Estados Unidos y Australia

En la actualidad, solo hay dos países que pueden ser considerados como aliados de la Unión Europea con grandes reservas de tierras raras: Estados Unidos y Australia. Sin embargo, sus reservas siguen siendo bastante reducidas respecto al total global.

5.1.1. Reservas y producción de tierras raras: situación del actor a nivel global

Por un lado, Australia tiene unas reservas estimadas de 3.4 millones de toneladas métricas de tierras raras. Esto supone un 3% de las reservas mundiales, colocándola como el sexto país en términos de reservas de estos recursos. A pesar de esto, la capacidad de producción y extracción es superior y el sector de la minería está mucho más avanzado. Esto se puede ver en la cantidad de recursos extraídos. Concretamente, Australia extrae anualmente 1.900 toneladas métricas de materias raras, lo que supone un 11% de la extracción y producción total mundial, que asciende a 120.000 toneladas métricas. Es importante tener en cuenta también que el propio gobierno australiano considera que gran parte de su territorio (un 80%) no ha sido investigado en profundidad, y que el potencial de encontrar mayores reservas es muy alto.

En cuanto a Estados Unidos, se estima que sus reservas son de 1.4 millones de toneladas métricas. Comparativamente, esto solo representa un 1% de las tierras raras disponibles mundialmente, colocando al país americano como el séptimo en términos de cantidad de recursos de este tipo. Sin embargo, y de manera similar a Australia, su capacidad de extracción es muy superior a la de otros países con mayores reservas. En este caso, Estados Unidos extrae anualmente unas 15.000 toneladas de los elementos raros. Esto supone un 9% de la producción total a nivel mundial.

Se puede ver por lo tanto, que aunque ambos países no lleguen al 5% de las reservas mundiales de tierras raras, sí que suponen un 20% de la extracción total de

dichos elementos (siendo segundo y tercer productores por detrás de China). Esto les da una ventaja en el corto plazo antes de que los demás países empiecen a desarrollar sus propias industrias de extracción.

5.1.2. Relaciones con la UE y política exterior

En el caso de ambos actores, y especialmente Estados Unidos, su relación con la Unión Europea es de aliado. La gran mayoría de los países comunitarios se encuentran en la OTAN, al igual que Estados Unidos, y este último tiene a Australia como aliado estratégico en el Pacífico. Hay un gran número de tratados bilaterales entre estos actores que favorecen el apoyo mutuo en caso de necesidad. Un buen ejemplo de esto es como Estados Unidos ha empezado a suministrar gas natural a Europa después de que Rusia cortase el suministro a raíz de la guerra en Ucrania.

En cuanto a la política exterior relativa a las tierras raras, Estados Unidos ha ido reduciendo paulatinamente sus exportaciones de tierras raras. En el año 2021 solo exportó 19 toneladas de tierras raras (un 0,1% de su producción), importando, por el contrario, 487 toneladas, unos números que acompañan las tendencias de los últimos 5 años. Esto indica que Washington está llevando a cabo un programa de ahorro de dichas materias, dejando salir el mínimo y exportando del mercado exterior lo necesario para su producción interna. Por el lado de Australia, las políticas son mucho más autárquicas. A pesar de su posición global como extractor de tierras raras, las exportaciones anuales no exceden la tonelada anual, y al mismo tiempo, no importa tampoco del exterior. El gobierno australiano ya ha expuesto la necesidad no sólo de atraer inversión extranjera para prospección de sus tierras y posterior explotación, sino que también defiende la necesidad de transformar la materia bruta y manufacturarla en el propio país, reportando mayor beneficio.

El principal problema para la Unión Europea respecto a estos actores no es la posibilidad de importar o la voluntad política de hacerlo, sino los costes de su transporte y la necesidad que puedan tener los propios actores para su consumo interno, que siempre irá por delante de las necesidades de otro país (aunque sea aliado).

5.2. *Rusia*

Las relaciones entre la Unión Europea y Rusia se han ido complicando desde 2014, año en el que Rusia se anexionó Crimea. La actual guerra en Ucrania en lo que han denominado «Operación Especial» no ha hecho sino empeorar la situación, dando lugar a un constante intercambio de sanciones económicas y cortes de suministros. De estos últimos, el más grave ha sido el corte de gas natural por parte de Moscú a los países de la Unión Europea, convirtiendo la dependencia de los países comunitarios de la energía rusa en un arma.

5.2.1. Reservas y producción de tierras raras: situación del actor a nivel global

Rusia se encuentra ahora mismo como cuarto país a nivel mundial en cuanto a reservas de tierras raras, teniendo 12 millones de toneladas de dichos materiales, lo que

representa un 10% a nivel mundial. Sin embargo, su capacidad de extracción es mucho más reducida respecto a sus reservas si se compara con países como China o Estados Unidos. En la actualidad, tiene una capacidad de extracción de 2.600 toneladas anuales, lo que lo sitúa como el quinto extractor a nivel mundial copando un 2% de las extracciones totales.

Sin embargo, gran parte de sus reservas se encuentran en lugares de difícil acceso, con una infraestructura de carreteras y ferrocarriles casi inexistente. Esto supone en primer lugar la necesidad de realizar una gran inversión inicial, además de encarecer el precio de extracción una vez se hayan construido las instalaciones necesarias.

5.2.2. Relaciones con la UE y política exterior

Debido a la situación política actual, la Federación Rusa ha visto bloqueadas gran cantidad de las exportaciones extranjeras de manufactura especializada. Eso ha obligado a Moscú a empezar a producir gran parte de dichos bienes. En muchos casos, estos productos necesitan recursos especializados, entre los que se pueden encontrar las tierras raras. Esta situación se ha traducido en la actual tendencia en la que Rusia no importa muchos materiales (debido en gran parte a las limitaciones y sanciones impuestas por occidente). Por otro lado, también ha provocado que la gran parte de las tierras raras extraídas sean usadas para consumo propio, limitando las exportaciones al exterior. En 2021, Rusia solo exportó 93 toneladas de tierras raras, lo que supone solamente un 3,57 % de su producción total.

En cuanto a su relación con la Unión Europea, Rusia ha demostrado ya su disposición a usar los recursos como arma, al igual que con el gas. De la misma forma, se puede esperar que decida limitar, si no cortar totalmente, las exportaciones de tierras raras a los países comunitarios. Muchas de estas materias son necesarias para las industrias más avanzadas, afectando a sectores tan diversos como el de la automoción. Sin embargo, su necesidad en el ámbito militar es la que más importa a Rusia, que quiere debilitar todo lo posible los envíos de armamento de occidente a Ucrania.

5.3. China

China es en la actualidad la mayor reserva de tierras raras en el mundo, algo que ha sabido explotar a su favor a la hora de expandir su influencia en el mundo. Su capacidad de producción y competitividad respecto a otros actores han hecho que cada vez más países dependan de su producción y extracción de recursos. Un gran ejemplo de esto ha sido la pasada crisis de la COVID 19, cuando las cadenas de producción de medio mundo se frenaron debido al cierre de las fábricas chinas.

5.3.1. Reservas y producción de tierras raras: situación del actor a nivel global

Hasta el momento, China es el líder indiscutible en cuanto a tierras raras. Tiene la mayor reserva mundial de dichos elementos. Los depósitos totales ascienden a 44 millones de toneladas, lo que supone un 38% de las reservas totales. Además, sabiendo aprovechar su ventaja, se sitúa también como el primer extractor de dichos recursos a

nivel mundial, produciendo 120.000 toneladas anuales. Esta producción se apoya en la extensa red de infraestructuras que el país asiático ha ido construyendo a lo largo de la última década. Además, hace uso de dicha red para poder exportar con más facilidad y de manera más competitiva hacia el exterior. Dichas exportaciones han ido creciendo año a año, disminuyendo solamente y de manera muy leve durante los años de la pandemia. En 2021, China exportó 9.438 toneladas de tierras raras al exterior, suponiendo un 21% de su producción total (mucho más alto que cualquier otro país). Esto a su vez supuso un 63,13% de las exportaciones totales hechas en el mundo ese año. Sus importaciones por otro lado ascendieron solamente a 208 toneladas, que si bien es un número pequeño si se compara con la cantidad exportada, a nivel global lo coloca como octavo importador. Por último, las prioridades del gobierno chino son claras: controlar el mercado global a través del establecimiento de cuotas de producción a nivel interno, como en 2018, año en el que limitó por ley la producción a 115.000 toneladas, dando prioridad a la satisfacción de la demanda interna.

5.3.2. Relaciones con la UE y política exterior

Durante los últimos años, y haciendo uso de sus ventajas competitivas, China ha ido expandiéndose económicamente. Uno de sus principales motores de expansión ha sido la construcción de vías de comunicación, tanto terrestres como marítimas, cuyo objetivo era el transporte de bienes y de materias primas en ambos sentidos, tanto de entrada como de salida. Esto último ha sido recogido en un concepto conocido como «La Nueva Ruta de la Seda». La ruta marítima la está construyendo a través de grandes inversiones en el sudeste asiático, el océano Índico, el este de África y algunos puntos de Europa. Por otro lado, la ruta terrestre tiene como objetivo unir los puertos que conectan la vía marítima, y llegar a los puntos de interés que no se pueden alcanzar a través del mar. Con este proyecto, China apunta a ser el principal socio comercial del mundo entero. A través de esta posición, se espera que empiece a expandir también su poder político, haciendo uso de su importancia en las economías de otros países para ejercer presión.

Una parte importante de esta expansión es la de copar el mercado con bienes (como las tierras raras) muy competitivos, incitando al resto de países a empezar a desarrollar la infraestructura necesaria para facilitar dichas importaciones y descuidando su independencia estratégica. Esto le otorgaría un poder y una influencia en otros estados que podrían luego ser explotadas.

En cuanto a la relación con la Unión Europea, en la actualidad, los países comunitarios están empezando a ver los peligros de depender de un solo suministrador. Primero, se vio durante la crisis de la COVID-19 y, a continuación, durante la guerra en Ucrania debido al gas ruso. A pesar de ello, las relaciones comerciales entre China y la UE siguen creciendo. El 1 de abril de 2022 se celebró un diálogo económico y comercial de alto nivel cerrando varios acuerdos bilaterales. Por otro lado, China es actualmente el tercer socio comercial más importante de la Unión en cuanto a las exportaciones de mercancías (10,2 %) y el mayor socio de la Unión en cuanto a

importaciones (22,4 %). Esto demuestra una tendencia que los dirigentes europeos no han sido capaces de revertir, y es que cada año la UE es más dependiente económicamente de China, especialmente después de que el mercado Ruso se cerrase. En la última década se registró continuamente un déficit comercial con China, que pasó de 129.000 millones de euros en 2011 a un valor máximo de 249.000 millones de euros en 2021.

5.4. *Brasil, India y Vietnam*

Además de los actores ya vistos, de los cuales se puede extraer una actitud clara respecto a la UE, hay otros países que pueden empezar a adquirir una gran importancia en el ámbito mundial. Son países que, debido a su riqueza de materiales, han empezado a crecer y cuyo apoyo en caso de un bloqueo de exportaciones de tierras raras podrían decantar la balanza en un conflicto comercial. Sin embargo, los grandes actores geopolíticos han empezado a dirigir sus atenciones a estos países. De estos, los más importantes en el ámbito de las tierras raras son Brasil, India y Vietnam.

5.4.1. Reservas y producción de tierras raras: situación del actor a nivel global

Aunque la atención del mundo se centre en los países presentados anteriormente en el conflicto de las tierras raras, casi el 50% de las reservas se encuentran distribuidas entre estos tres países: Brasil, India y Vietnam. Estos tienen respectivamente 21 millones, 7 millones y 22 millones de toneladas métricas de tierras raras. Esto supone en total un 43% de las reservas totales a nivel mundial.

Sin embargo, a pesar de sus grandes reservas, estos países tienen unas claras limitaciones a la hora de extraer los recursos. Concretamente, su capacidad de extracción combinada se reduce a 3.200 toneladas, o un 2,01% de la producción total a nivel mundial.

5.4.2. Relaciones con la UE y política exterior

En la actualidad, ninguno de estos países tiene una clara política hacia la unión europea, por lo menos al nivel que el resto de los actores. En constante cambio de paradigma hacia un mundo multipolar les beneficia, y es probable que muchos de estos países empiecen a querer beneficiarse de sus recursos sin estar asociados a ningún otro estado. Por ello, estos actores son en los que se debe apoyar la UE para evitar una situación de dependencia. Este apoyo debe incluir la transferencia tecnológica en cuanto a la extracción de minerales, e impulsar el desarrollo de una industria minera en la región. El potencial de explotación es muy alto como puede verse en los datos de reservas de tierras raras. Otros países se han percatado y han comenzado a maniobrar políticamente para asegurarse tratados bilaterales que faciliten el acceso a los recursos de dichos países. Por ejemplo, Brasil tiene ya como principal socio comercial a China, que hasta hace solamente 4 años era la Unión Europea. Por otro lado, India y Vietnam parecen estar más alineados con occidente desde el punto de vista económico.

En el caso de la India, su principal socio comercial es Estados Unidos. Esto se debe seguramente a los constantes choques políticos que tienen China y la India debido a las disputas fronterizas, que han llegado a dejar muertos y heridos por ambas partes. Además, la UE firmó en 2004 una asociación estratégica y aprobaron en 2020 una hoja de ruta para 2025 para implementar dicha asociación.

En cuanto a Vietnam, de acuerdo con los datos estadísticos agregados de Naciones Unidas, en el año 2019 los principales socios comerciales de Vietnam fueron: Estados Unidos, China y Japón. A partir de estos datos se observa que la mayor parte de las exportaciones vietnamitas se dirigen al mercado asiático –más del 40% de las exportaciones (ICEX, 2020). Además, es importante recalcar que Vietnam es el único país en vías de desarrollo en tener firmado un Acuerdo de Libre Comercio con la UE, que fue ratificado en 2019. Esto evidencia que los países comunitarios han empezado a reaccionar a las nuevas demandas de tierras raras, y a la situación geopolítica actual.

6. Tendencias de futuro: Generación de escenarios

Las **fuerzas impulsoras** que se han considerado para la generación de escenarios en base a la estrategia europea sobre tierras raras para con horizonte 2030 y con el objetivo máximo de independencia y competitividad tecnológica son:

1) Descubrimiento tierras raras en Australia, EE. UU y Europa

La hegemonía de China sobre este elemento estratégico supone un posicionamiento dominante frente a otros países. A este impulsor se le considera fundamental porque el descubrimiento de yacimientos o depósitos en diferentes países aliados puede equilibrar la balanza en volumen de reservas totales de este elemento estratégico.

El 15 de enero de 2021, el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información de China planteó un proyecto con la finalidad de regular la producción, las operaciones de extracción, fundición y separación de tierras raras (Ministerio de Industria y Tecnología de la Información de la República Popular China, 2021). Parece que el verdadero fin residía en evaluar, en caso de una disputa bilateral, cómo podría afectar a las empresas estadounidenses y europeas un recorte de tierras raras por parte de China; y con qué capacidad y rapidez EE. UU podría superar esta situación acudiendo a proveedores o aumentando su capacidad de producción (Akan, 2021).

Estados Unidos, con ello, empezó a desarrollar el depósito de tierras raras en Round Top, Texas. Así mismo, se han descubierto depósitos de arcilla en África y América con abundantes tierras raras pesadas cuyo valor es más barato y fácil de usar. En 2020, se encontró en el condado de San Bernardino, California, un depósito muy rico en Uranio y en otras tierras raras como el itrio, neodimio y lantano.

De igual modo, existen ciertas empresas que poseen minas como la de Lynas Maweld en Australia, que es uno de los principales depósitos, o MP Materials, que es el

propietario mayoritario de la Mina Mountain Pass, con el depósito de tierras raras de mayor calidad del mundo. Entre las dos han aumentado la producción del 3% al 40% en 10 años (Sanchez, 2022).

En definitiva, Australia aun teniendo el 3% de reservas mundiales de tierras raras, extrae y produce un 11%; y Estados Unidos poseyendo un 1%, porcentaje significativamente menor al de otros países, produce un 9% (U.S Geological Survey, 2019). Considerando esta proporción, a pesar de no ser muy elevada, si Australia o Estados Unidos dispusieran de más reservas, la extracción y la productividad en general sería mucho mayor.

2) Innovación Know How

El conocimiento práctico respecto al procesamiento de tierras raras supone un aspecto prioritario para ocupar una posición privilegiada en el marco competitivo de las tierras raras. Es tan importante tener reservas de minerales estratégicos como tener ese conocimiento práctico e innovador que resulte en un procesamiento efectivo y eficiente.

Así, frente aquellos países que tienen reservas o depósitos mundiales, Europa puede ocupar una posición relevante desarrollando métodos o procesos novedosos para la extracción de tierras raras. Ejemplo de ello es la extracción de tierras raras en un producto polvoriento grisáceo a partir de la quema de carbón a temperatura ambiente (Alcalde, 2022) y otro que consiste en la corrosión del imán en etapa pretratamiento, líquido iónico para extracción de materiales y posteriormente las tierras raras se precipitan con ácido oxálico.

Otros países como EE. UU producen al año 10.000 toneladas de fosfoyeso y con ácidos orgánicos producidos por bacterias cultivadoras en glucosa se pueden separar las tierras raras (González, 2019).

3) Ejecución y reactivación de proyectos

Existen una serie de proyectos europeos públicos y pertenecientes a empresas privadas dentro de la UE que supondrían un notable abastecimiento para los Estados miembros. Sin embargo, por motivos de seguridad o relativos al medioambiente, entre otros, su puesta en marcha ha sido denegada. De esta manera, su activación, en caso de suspensión de flujo de suministros de tierras raras podría elevarse como un método de abastecimiento plausible.

Así, existen ciertos proyectos paralizados actualmente por motivos de impacto medioambiental como es, por ejemplo, el «Proyecto MATAMULAS», localizado en Ciudad Real, España. Este proyecto europeo denegado y ampliamente rico en tierras raras (30% de praseodimio y neodimio, cuando normalmente se requiere entre un 8-10% para satisfacer las necesidades), se podría considerar una alternativa en el futuro dado que podría abastecer un 50% de las necesidades europeas hasta 2030.

Otros ejemplos por considerar se sitúan en Suecia, como el yacimiento Norra Karr, pero se canceló por riesgos del medio ambiente; o en la Sierra de Galiñeiro, en Pontevedra, en 2013, donde surgió una investigación por una empresa multinacional sudafricana denominada Umbono Capital que se canceló por difícil accesibilidad.

4) Conciencia situacional

Aunque esta percepción de preocupación ya surge desde hace unos años debido a que el bloque oriental concentra y posee un alto porcentaje de la producción mundial, en la actualidad existe una mayor concienciación y preocupación entre los gobiernos occidentales. Esta concienciación ofrece un mayor respaldo a través de estrategias políticas, con una reducción de la dureza de leyes medioambientales, mayor financiación para proyectos europeos de innovación prospectiva como, en el pasado con ERECON, EURARE o REMANECIA. Ya en 2010 se construyeron capacidades y abrieron nuevas minas en EE. UU, Japón y Australia, y los inversores se centraron a partir de ese año en encontrar yacimientos en países como Canadá, Sudáfrica, Kazajstán, Brasil o Venezuela (Álvarez y Trujillo, 2020).

5) Encontrar una alternativa a las tierras raras

En el contexto actual, y como se ha comentado a lo largo de todo el documento, las tierras raras constituyen un elemento estratégico imprescindible para el desarrollo tecnológico. De esta manera, la posibilidad de encontrar un elemento o proceso diferente que pueda cubrir las necesidades de tal desarrollo supondría un cambio total en el juego del marco comercial de las tierras raras.

En 2018, el 93% de los motores eléctricos que se vendieron utilizaron imanes permanentes cuyo ingrediente principal para su construcción son las tierras raras. Toyota espera que para el 2030 se vendan aproximadamente 5,5 millones de vehículos eléctricos y está creando motores inductivos eléctricos en colaboración con Tesla, que incluyen un 50% menos de metales de tierras raras. De igual modo, la empresa BMW invirtió 200 millones de euros, ante un escenario de escasez, en un nuevo motor sin tierras raras con un centro de celdas de batería. En 2019, Apple, en los diferentes iPhone 11, utilizó tierras raras recicladas para el motor táctico cuya función es imitar la pulsación de un botón físico. Esto se hizo recuperando, por ejemplo, 32 Kg de tierras raras con un robot llamado Daisy de 100.000 iPhone. Esto ayudaría para obtener una menor dependencia de China y liberar tensiones comerciales. Toshiba, en 2012, desarrolló un imán que se utiliza en motores de coches, motos, trenes eléctricos, de samario-cobalto que es más barato y está disponible en países como EE. UU y Australia; y sin concentración de otro elemento que es más caro y escaso que es el disprosio. Con ello, se podrán sustituir los imanes actuales de neodimio (Fuentes, 2019).

La Unión Europea, así mismo, ejecutó un proyecto, actualmente cerrado, denominado «Remanencia». Con una inversión inicial de 4.965.983,65 de euros, su objetivo era desarrollar técnicas avanzadas que permitieran recuperar y reciclar tierras

raras, concretamente imanes de neodimio y hierro-boro, de equipos electrónicos e incrementar así las tierras raras existentes en ese momento.

6) Tensión política por conflicto de Ucrania

La tensión política entre Estados por la guerra en Ucrania supone un impulsor permanente y real que modifica continuamente el marco de las relaciones internacionales. Por lo tanto, cabe subrayar su importancia en el panorama de las tierras raras dada su influencia en aspectos como la inflación, corte de suministros de minerales estratégicos y otras materias primas esenciales como el gas y el petróleo.

Con todo, la alta implicación de Europa en el inicio guerra dio lugar a una conciencia situacional que posicionó el problema del desarrollo tecnológico a un segundo plano. Sin embargo, con la latente crisis de los microchips y la falta de abastecimiento de tierras raras durante este periodo ha sacado a relucir la importancia que tiene la industria de las tierras raras en el día a día del ciudadano europeo. De esta manera, se vuelve a confirmar la necesidad de atender el transcurso de la guerra en Ucrania y su influencia en la cadena de suministros de tierras raras.

- Escenarios

Con el fin de elaborar un estudio prospectivo de la situación analizada se ha creado, a través de la unión de dos técnicas, Generación de Escenario Simples de Randolph H. Pherson y Richards J. Heuer y la de Fulton Armstrong, la siguiente tabla (ver Tabla 2¹³):

ESCENARIOS IMPULSOR	TENDENCIA	MÁS PROBABLE Statu quo de la situación	MEJOR ESCENARIO Independencia UE tierras raras	PEOR ESCENARIO Absoluta dependencia UE	FUTURO DESEADO
Descubrimiento de tierras raras en Australia, EE.UU y Europa	De Continuidad ➔	N	+	-	++
Innovación del Know How	Alza ⬆	+	+	-	+
Ejecución y reactivación de los proyectos actuales de obtención de REE	De Continuidad ➔	N	+	-	N
Conciencia Situacional entre los gobiernos occidentales	Alza ⬆	+	+	-	+
Encontrar una alternativa a las REE	Baja ⬆	-	+	-	++
Tensión política por conflicto de Ucrania	Alza ⬆	+	-	+	-

Tabla 2

¹³ Tabla 2. “Generación de escenarios simples” de elaboración propia.

Luego, cada escenario es desarrollado más detalladamente en el siguiente cuadro (ver Cuadro 1¹⁴):

Escenario más probable: Statu quo de la situación
<p>El resultado de evaluar la tendencia de las diferentes fuerzas impulsoras conduce a pensar que el escenario más probable es el mantenimiento del statu quo con una alta probabilidad, 80%. Este escenario afectaría negativamente al objetivo de conseguir cierta independencia y competitividad tecnológica por una tendencia alcista de la tensión política por el conflicto de Ucrania, que puede involucrar una interrupción de suministros. En este escenario no existe una ventana de oportunidad, excepto un atisbo de luz por la conciencia situacional de los gobiernos occidentales con cierta innovación en la extracción de tierras raras.</p>
Escenario mejor: Independencia de la Unión Europea en tierras raras
<p>No existen numerosos motivos para afirmar con certeza que habrá una independencia de tierras raras de la Unión Europea y especialmente en el horizonte 2030, considerando una probabilidad de entre el 15-20%. En el caso de que los países consiguieran ejecutar o reactivar los proyectos actuales de obtención, descubrir yacimientos o depósitos de tierras raras o encontrar una alternativa a las tierras raras, se podría acercar a este escenario de independencia.</p>
Escenario peor: Dependencia total de la Unión Europea
<p>En este escenario, se consideraría que los países occidentales desistieran en perseguir la independencia ante una situación de escasez o bloqueo de suministros y, es por ello, por lo que se evalúa su materialización con una baja probabilidad, entre el 20-25%. Se contempla difícil que el bloque occidental, tanto la Unión Europea o países aliados como Estados Unidos o Australia, por sus propios intereses estratégicos y su conciencia situacional, no traten de descubrir yacimientos, alternativas o innoven en la extracción de tierras raras. Por otro lado, se debe tener en cuenta el conflicto actual de Ucrania debido a que a corto plazo significa un evento disruptivo que puede dificultar el flujo de tierras raras. La insuficiente industria de tierras raras por parte de Occidente limita su capacidad de autosuficiencia y obliga a depender tecnológicamente de China.</p>
Futuro deseado: Independencia y dominio de la UE
<p>Este escenario sería óptimo desde el prisma europeo u occidental. La tendencia actual de conquistar los espacios comercial, social y territorial en una perspectiva y estrategia de futuro marca la política exterior de la mayoría de los países incluyendo la de China. Por esta razón, por la disputa y resistencia del bloque oriental, se plantea la consecución de este escenario como prácticamente imposible a corto plazo. Aun así, se considera esencial desarrollar los procesos de extracción, encontrar una alternativa a las tierras raras o invertir en encontrar otros yacimientos de tierras raras en suelo europeo para la consecución del objetivo planteado en el análisis.</p>

¹⁴ Cuadro 1. “Desarrollo de los escenarios” de elaboración propia.

7. Recomendaciones

En base al análisis general, a la tabla de escenarios anteriormente mencionada y toda la información recopilada a lo largo de todo el documento, surgen una serie de recomendaciones que podrían facilitar la consecución del objetivo europeo de independencia y competitividad tecnológica.

Primeramente, se recomienda **facilitar la apertura de nuevas instalaciones** de tierras raras en forma de minas o fábricas de imanes, entre otros aspectos. De esta forma, se lograría una cadena de suministros propia. El proceso para la construcción total de esta cadena de suministros independiente dura aproximadamente 20 años. Este es el caso de Japón, país que ha logrado reducir la dependencia tecnológica china con la construcción de sus propias fábricas. Para esta recomendación cabe realizar cierta prospectiva, que indica un crecimiento de la demanda en la próxima década, generando un punto álgido en 2030. Además, teniendo en cuenta la situación geopolítica actual, marcada por una pandemia de la COVID-19 y una guerra en Ucrania, se debe prestar especial atención a aquellos eventos disruptivos que detengan las cadenas de suministros globales. En este sentido, se vuelve a tornar trascendental la necesidad de una infraestructura europea e independiente de tierras raras.

En segundo lugar, la consolidación de ciertas **condiciones equitativas** para que las **empresas occidentales** puedan competir con las de origen chino podría facilitar esa competitividad internacional que busca la Unión Europea. Así, un sólido posicionamiento de empresas públicas y privadas en el mercado de las “tierras raras” podría fortalecer el suministro constante y fiable de estos minerales estratégicos.

Para ello, tal y como se advierte en la tabla de los escenarios, se recomendaría lograr esta posición mediante un **respaldo gubernamental** fundamentado en la financiación pública y en el apoyo político, así como en la agilización administrativa. En este sentido podrían intervenir un mayor número de actores en el mercado, dando lugar a un menor poder negociador y menor influencia de la República Popular China, evitando la posible manipulación de los precios respecto al mercado tecnológico y de tierras raras.

Otra de las recomendaciones que se sugieren planificar y ejecutar es la del **reciclaje de tierras raras**. Esto se basa en el reprocesamiento de residuos electrónicos a distintos niveles como puede ser el doméstico o el empresarial. De esta forma, se intentaría formalizar un modelo de economía circular fundamentado en la reducción de consumo energético y costes económicos. A su vez, se recomienda una **mayor inversión en I+D**, aunque ya se realiza en tres frentes diferentes que son encontrar una alternativa, capacidades del Know How y el reciclaje de REE, con el fin de que estos modelos de producción se establezcan como una cadena de valor eficiente y estable.

Finalmente, focalizando la atención en la reducción del consumo energético y el coste ambiental de la industria de las tierras raras se aboga una **planificación de nuevos proyectos de minería responsable y abastecimiento ético**. De este modo se

conseguiría una industria con menor impacto medioambiental y mejores condiciones de bienestar humano.

8. Conclusiones

Actualmente, se observa un contexto marcado por una rivalidad geopolítica bipolar: Occidente y el resto del mundo. En este escenario, influido ampliamente por el desarrollo tecnológico como clave del progreso, tanto las tierras raras como los microchips se elevan como elementos esenciales para tal desarrollo. Su aplicación en sectores como las energías renovables, la computación o el militar y en productos tecnológicos como los microprocesadores o las armas guiadas con precisión confirman su indiscutible importancia en el panorama internacional actual.

En este contexto, Occidente, amparado principalmente en Australia, Estados Unidos y la Unión Europea como principales actores, se contrapone a la creciente influencia, tanto en materia de reservas como de expansión influenciadora, de Rusia y China, especialmente. La República Popular China alberga la mayor cantidad de yacimientos de tierras raras, así como se posiciona en el primer puesto en cuanto a producción se refiere. Además, la localización de la mayor planta de producción de microchips se encuentra en Taiwán bajo la empresa TSMC, otorgándole al país asiático una posición privilegiada. Asimismo, su propósito expansionista establecido bajo “La Nueva Ruta de la Seda” consolida sus redes de interconectividad global a la vez que asegura su papel protagonista como exportador de tierras raras, microchips y alta tecnología en general.

Teniendo en cuenta este contexto, en el escenario más posible o continuado, ambas partes contrapuestas (China y Occidente) mantendrían cierto equilibrio en el juego de poder sobre las tierras raras y los microchips. La superioridad china en cuanto a reservas de estos minerales y el alto conocimiento práctico de la industria occidental que permite la competitividad mutua se mantendría en un futuro 2030. Bajo esta hipótesis, tanto la conciencia situacional de los gobiernos occidentales como la ejecución de los proyectos de procesamiento de tierras raras se incrementarían con el fin de mantener esa competitividad. Finalmente, la localización mayoritaria de los yacimientos en China dificultaría una cadena de suministros estable para Europa, por lo que se deberían seguir unos mecanismos diferentes para alcanzar ese futuro deseado, un futuro de independencia tecnológica y de tierras raras.

De esta forma, el futuro deseado europeo recogido en el objetivo principal de este documento, “alcance de la independencia tecnológica y cadena de suministros de tierras raras y microchips propia y estable”, se alcanzaría con el reajuste de la situación de los impulsores previamente estudiados. Así, el descubrimiento de nuevos yacimientos en Australia y EEUU permitiría a Europa integrarse en un mercado menormente influido por China. Asimismo, la inversión en conocimiento práctico o *know-how* elevaría el dominio occidental sobre el procesamiento de tierras raras y microchips. Esta inversión se ampara sobre el apoyo político y la financiación gubernamental generada por la

amplia conciencia situacional de los gobiernos occidentales. Por último, cabe destacar la influencia de la guerra en Ucrania como impulsor disruptivo actual en la consecución de los objetivos y escenarios planteados. Este determinante impulsor puede condicionar la cadena de suministros de abastecimiento de tierras raras mediante la suspensión del flujo de estas para explotar la dependencia.

Con todo, se prevé un progreso tecnológico global creciente fundamentado en la posesión y conocimiento práctico de tierras raras necesarias para su fabricación. Por ello, la independencia europea en este aspecto se torna trascendental para conseguir mantener el equilibrio de poder. Así, se recomienda y propone a la UE una serie de opciones clave para reajustar tales impulsores. Estas recomendaciones se resumen en: ampliación de la infraestructura relacionada a la industria de las tierras raras; apoyo político fundamentado en la financiación estatal y agilización administrativa (consecuencia de una óptima conciencia situacional estatal); y el reciclaje de tierras raras basado en el reprocesamiento de dispositivos electrónicos, concluyendo en un modelo de economía circular.

9. Bibliografía

- Alcalde, S. (2022, 27 de agosto). Cómo obtener tierras raras de los residuos. *National Geographic España*. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/como-obtener-tierras-raras-residuos_17845
- Alguacil, F. J. y Rodríguez, F. (1997). Procesos de separación de las tierras raras. *Revista de metalurgia*, 33(3), 187-196.
- Álvarez Calderón, C. E. y Trujillo Palacio, J. H. (5 de diciembre de 2020). Geopolítica de las tierras raras: un recurso natural estratégico para la seguridad multidimensional del Estado. *Revista Científica General José María Córdova*, 18(30). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-65862020000200335
- Attinasi, M.G., Stefani, R., Frohm, E., Gunnella, V., Koester, G., Melemenidis, A., yToth, M. (2021). The semiconductor scarcity and its implication for euro spacecommerce, manufacturing and costs. *Boletín Económico del Banco Central Europeo*, 4. https://www.ecb.europa.eu/pub/economic-bulletin/focus/2021/html/ecb.ebbox202104_06~780de2a8fb.en.html
- Chamberlayne, H. y Clode, R. (8 de septiembre de 2022). *Las unidades de procesamiento gráfico (GPU) están marcando el futuro de la computación*. Janus Henderson Investors. <https://www.janushenderson.com/es-es/investor/article/gpus-are-driving-the-future-of-computing/>
- Comisión Europea (2008). *The Raw Materials Initiative: Meeting Our Critical Needs for Growth and Jobs in Europe*. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council; COM (2008) 699 Final; European Commission: Brussels, Belgium. Recuperado el 12 de septiembre de <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0699:FIN:en:PDF>
- Comisión Europea (24 de junio de 2013). *Informe de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. Sobre la aplicación de la Iniciativa de las Materias Primas*. Bruselas, 24.6.2013 COM(2013) 442 final. Recuperado el 5 de octubre de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0241>
- Comisión Europea (2013). *Strategic Implementation Plan (SIP) of the European Innovation Partnership (EIP) on Raw Materials: Part II—Priority Areas, Action Areas and Actions*; Final Version-18/09/2013; Brussels, Belgium. Recuperado el 12 de septiembre de https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/eip/strategic-implementation-plan-sip_en

Comisión Europea (11 de diciembre de 2019). El Pacto Verde Europeo. COM/2019/640 final. Bruselas. Recuperado el 12 de octubre de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A52019DC0640>

Comisión Europea. (2020). *Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU - a foresight study* (DOI 10.2873/865242). https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf

Comisión Europea (3 de septiembre de 2020). *Resiliencia de las materias primas fundamentales: trazando el camino hacia un mayor grado de seguridad y sostenibilidad*. Bruselas, 3.9.2020 COM(2020) 474 final. Recuperado el 12 de septiembre de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>

Comisión Europea (3 de septiembre de 2020). *Action Plan On Critical Raw Materials*. Recuperado el 19 de septiembre de <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42852>

Comisión Europea (5 de mayo de 2021). Communication "*Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe's recovery. European industrial strategy*". Recuperado el 12 de septiembre de 2022 de https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy_en#documents

Comisión Europea (14 de septiembre de 2022). *Critical Raw Materials Act: securing the new gas & oil at the heart of our economy*. Brussels, STATEMENT/22/5523. Recuperado el 12 de septiembre de https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/STATEMENT_22_5523

ComputerWorld (25 de agosto de 2021). *Chip de IA con capacidades que se aproximan al cerebro humano*. Recuperado el 2 de octubre de 2022 de <https://www.computerworld.es/tecnologia/chip-de-ia-con-capacidades-que-se-aproximan-al-cerebro-humano>

del Castillo, C. (24 de octubre de 2021). *La falta de materiales que esconde la crisis de los chips: "La transición ecológica y digital está en riesgo"*. Recuperado del 25 de septiembre de 2022 de https://www.eldiario.es/tecnologia/falta-materiales-esconde-crisis-chips-transicion-ecologica-digital-riesgo_1_8371507.html

Del chip a la sociedad digital: la evolución de la microelectrónica en 50 años. (23 de agosto de 2021). Cromo. Recuperado 25 de septiembre de 2022, de <https://www.elobservador.com.uy/nota/del-chip-a-la-sociedad-digital-la-evolucion-de-la-microelectronica-en-50-anos-20218235010>

El abuso tecnológico y de recursos naturales. . . ¿provoca falta de microchips? (31 de octubre de 2021). Sistema Iberoamericano de Responsabilidad Social Empresarial

- (SIRSE). Recuperado 13 de septiembre de 2022, de <http://sirse.info/el-abuso-tecnologico-y-de-recursos-naturales-provoca-falta-de-microchips/>
- El Confidencial. (9 de mayo de 2021). *Microchips: la crisis tecnológica que nadie sabe arreglar* [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=4VKBUv9YS_g&t=52s
- Endl, A (2017). *Addressing “wicked problems” through governance for sustainable development—A comparative analysis of national mineral policy approaches in the European Union*. Sustainability 2017, 9, 1830. Recuperado el 29 de septiembre de https://www.researchgate.net/publication/320363021_Addresssing_Wicked_Problems_through_Governance_for_Sustainable_Development-A_Comparative_Analysis_of_National_Mineral_Policy_Approaches_in_the_European_Union
- Eurare Project (2013). Recuperado el 5 de octubre de <http://www.eurare.org/about.html>
- European Rare Earths Competency Network (ERECON). (s. f.). Strengthening the european rare earths supply-chain. Challenges and policy options. *ERECON*.
- Fernando. (s. f.). *La historia de los circuitos integrados (microchip)*. LovTechnology. Recuperado 10 de septiembre de 2022, de <https://lovtechnology.com/historia-de-los-circuitos-integrados-microchip/>
- Gobierno de Canarias. (2014, octubre). *Un chip: un circuito en miniatura*. Recuperado el 20 de septiembre de 2022 de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/mmormarf/files/2014/10/chip.pdf>
- González Mondaza, M. (2014). Entorno histórico y social de la aparición del microchip [Proyecto Fin de Carrera]. Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/34023/1/PFC_maria_gonzalez_mondaza.pdf
- Jiménez, S. (17 de septiembre de 2022). *Escasez de microchips: ¿Rusia se está quedando sin stock de armas hipersónicas?* La Razón. Recuperado el 2 de octubre de 2022 de <https://www.larazon.es/internacional/europa/20220917/fwaqg5t7uzcp5hhropgwjt652e.html>
- Khamlichi, M. (30 de marzo de 2021). *El microchip y sus innumerables aplicaciones*. Cientifiko. Recuperado el 20 de septiembre de 2022 de <https://www.cientifiko.com/microchip/#:~:text=El%20microchip%20est%C3%A1%20conformado%20en,ser%20de%20cer%C3%A1mica%20o%20pl%C3%A1stico>
- Leader A, Gaustad G. (2019). *Critical Material Applications and Intensities in Clean Energy Technologies*. Clean Technologies. 1(1):164-184. Recuperado el 12 de septiembre de 2022 de <https://doi.org/10.3390/cleantechnol1010012>

- López, J.C. (18 de febrero de 2022). *Los chips para coches moverán 115.000 millones de dólares en 2030. Así pretende Intel devorar el pastel*. Xataka. Recuperado el 20 de septiembre de 2022 de <https://www.xataka.com/automovil/chips-para-coches-moveran-115-000-millones-dolares-2030-asi-pretende-intel-devorar-pastel>
- Lucio, L. (11 de agosto de 2022).
- Méndez Ramos, J. (s. f.). *Tierras Raras: Elementos estratégicos para las tecnologías verdes*. Universidad de La Laguna. Recuperado 10 de septiembre de 2022, de <https://www.ull.es/portal/cienciaull/tierras-raras-elementos-estrategicos-para-las-tecnologias-verdes/>
- Mucha, Martín (24 de mayo de 2019). *Hay tierras raras aquí y están... en un lugar de La Mancha*. El Mundo. Recuperado el 5 de octubre de <https://www.elmundo.es/cronica/2019/05/24/5ce58be121efa0e77f8b4651.html>
- Porcher, P; Puche, R. S; Maestro, P y Cascales, C. (2000). Tierras raras: materiales avanzados. In *Anales de la Real Sociedad Española de Química* (No. 4, pp. 11-26). Real Sociedad Española de Química.
- Portillo, G. (s.f.). *Tierras raras. Renovables Verdes*. <https://www.renovablesverdes.com/tierras-raras/>
- Prego Reborendo, R. (13 de mayo de 2022). Las tierras raras, una pieza clave en el puzle de la energía. IEEE. Recuperado 21 de septiembre de 2022, de https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2022/DIEEEA33_2022.pdf
- Ratia, J. (3 de marzo de 2022). *Tierras raras, ¿la fiebre del oro verde?* Ethic. Recuperado 10 de septiembre de 2022, de <https://ethic.es/2022/03/tierras-raras-la-fiebre-del-oro-verde/#:~:text=Las%20llamadas%20C2%ABtierras%20raras%C2%BB%2C,restantes%2015%20tipos%20de%20lant%C3%A1nidos.>
- Real Academia Española. (2022). *Definición de chip*. Recuperado 10 de septiembre de 2022, de <https://dle.rae.es/chip?m=form>
- Reisch, Viktoria (1 de junio de 2022). *The Race for Raw Materials. Contributions to the Debate on the EU's Raw Materials Policy Following the Publication of the Fourth Critical Raw Materials List and the 2020 Action Plan*. SWP Journal Review 2022/JR 01. Recuperado 12 de septiembre de 2022, de <https://www.swp-berlin.org/en/publication/the-race-for-raw-materials>
- Regueiro, M. y González-Barros. (28 de mayo de 2019). *¿Qué son las tierras raras?* Tierra y tecnología. Recuperado 10 de septiembre de 2022, de <https://www.icog.es/TyT/index.php/2019/05/que-son-las-tierras-raras/#:~:text=Se%20ha%20dado%20el%20nombre,tulio%2C%20iterbio%20y%20lutecio>

Sainz Burón, S. (2016). Estudio para la Instalación de una Planta de Beneficio de Tierras Raras en el Complejo del Monte Galiñeiro (Pontevedra, Galicia).

Salla Ahonen, Nikolaos Arvanitidis, Anton Auer, Emilie Baillet, Nazario Bellato, et al. *STRENGTHENING THE EUROPEAN RARE EARTHS SUPPLY-CHAIN. Challenges and policy options*. A REPORT BY THE EUROPEAN RARE EARTHS COMPETENCY NETWORK (ERECON). European Commission. 2015. cea- 01550114. Recuperado el 5 de octubre de <https://ideas.repec.org/p/hal/wpaper/cea-01550114.html>

Shivakumar, S. y Wessner, C. (8 de junio de 2022). *Semiconductors and National Defense: What Are the Stakes?* Center for Strategic & International Studies. Recuperado 20 de septiembre de 2022 de <https://www.csis.org/analysis/semiconductors-and-national-defense-what-are-stakes>

Smol, M.; Marcinek, P.; Duda, J.; Szoldrowska, D. (2020). *Importance of Sustainable Mineral Resource Management in Implementing the Circular Economy (CE) Model and the European Green Deal Strategy*. Resources 2020, 9, 55. Recuperado el 29 de septiembre de <https://doi.org/10.3390/resources9050055>

Soriano Ibarra, A. (12 de mayo de 2022). *Diferencias entre el 4G y el 5G y cuándo llegará a España*. Comparaiso. Recuperado el 23 de septiembre de 2022 de <https://comparaiso.es/comparativas/diferencias-4g-5g>

ANEXOS

Imagen 1: “El consumo interior bruto de energía en la UE para varios plazos y escenarios”

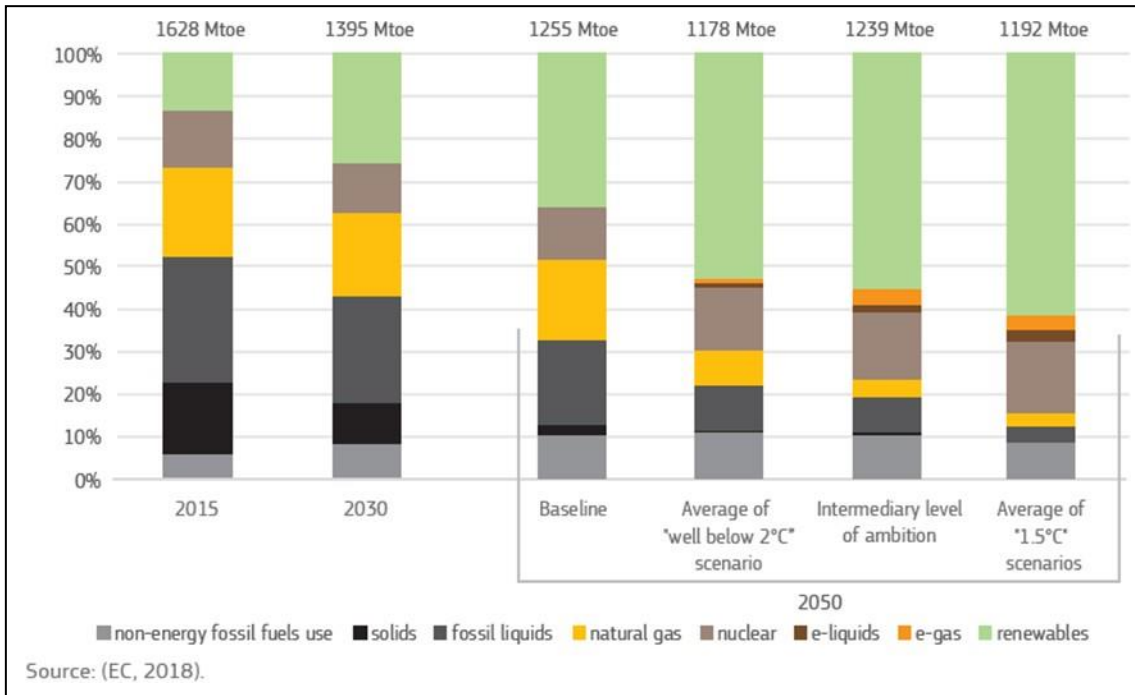


Imagen 2: Escenarios previsión de consumo 2030-2050

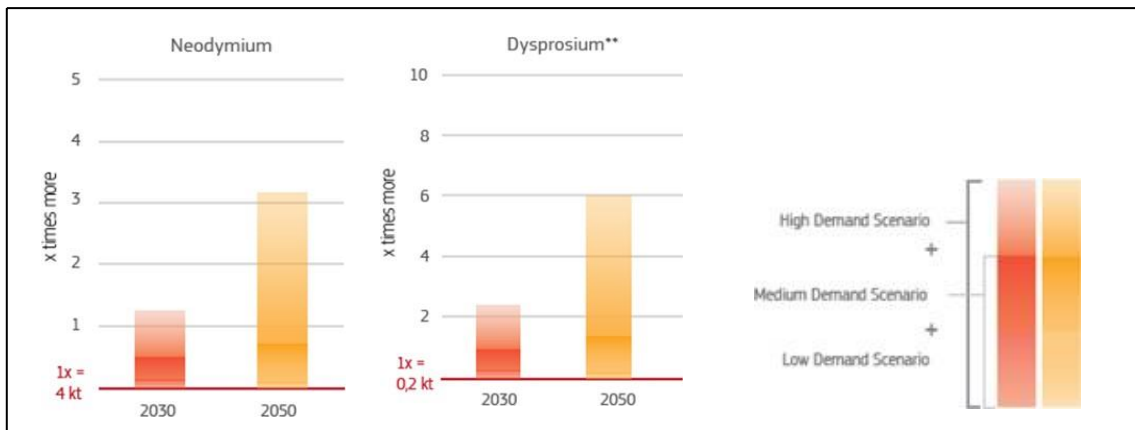


Imagen 3: “Uso en aplicaciones de defensa y riesgo de suministro de materias primas utilizadas por la industria de defensa de la UE”

Supply Risk	Material	Aeronautics	Naval	Land	Space	Electronics	Missiles
6,20	● Dysprosium	●		●	●		●
6,12	● Samarium	●	●		●	●	●
6,07	● Neodymium	●		●	●	●	●
5,67	● Other REEs	●				●	
5,49	● Praseodymium						●
4,20	● Yttrium				●	●	
3,91	● Magnesium	●	●	●	●	●	●
3,90	● Niobium	●	●				●
3,89	● Germanium			●	●	●	
3,19	● Borates	●				●	●
2,54	● Cobalt	●	●	●			●
2,22	● Beryllium	●	●	●	●		
1,84	● Platinum	●		●			
1,79	● Indium	●			●	●	
1,69	● Vanadium	●	●	●			●
1,64	● Lithium	●	●	●		●	●
1,61	● Tungsten	●	●	●	●		●
1,36	● Tantalum	●				●	●
1,26	● Titanium	●	●	●	●		●
1,26	● Baryte	●		●		●	
1,26	● Gallium	●			●	●	
1,12	● Hafnium	●			●	●	
0,94	● Molybdenum	●	●	●			●
0,93	● Manganese	●	●	●	●		
0,90	● Tin	●					
0,86	● Chromium	●	●	●	●		●
0,83	● Zirconium	●	●		●		●
0,68	● Silver	●				●	
0,59	● Aluminium	●	●	●	●		●
0,49	● Nickel	●	●	●	●		●
0,46	● Iron ore	●	●	●	●		●
0,45	● Rhenium	●			●		
0,41	● Selenium	●				●	
0,34	● Cadmium	●					
0,34	● Zinc	●	●		●	●	●
0,32	● Copper	●	●		●	●	
0,19	● Gold	●			●	●	
0,09	● Lead	●	●			●	●

Imagen 4: “Materiales utilizados en diferentes partes del avión de combate Rafale”

