

# El suministro europeo de materias primas críticas como tema sociocientífico en la enseñanza de química

Europe's supply of critical raw materials as a socioscientific issue in chemistry teaching

El subministrament europeu de matèries primeres crítiques com a tema sociocientífic a l'ensenyament de química

Jana-Christin Bütow / Waldschule Hagen-Beverstedt (Alemania)

Ingo Eilks / Departamento de Biología y Química. Universidad de Bremen; Instituto de Didáctica de la Ciencia. Bremen (Alemania)



## resumen

Toda economía depende del suministro de materias primas. Algunas de ellas, las llamadas materias primas críticas (MPC), son escasas o solo se producen en unos pocos países, y pueden crear un riesgo en el suministro. La Unión Europea publica cada tres años una lista de MPC para la economía europea. Se describe un entorno de aprendizaje digital para que el alumnado pueda aprender sobre estas materias y cuestiones sociocientíficas, así como los resultados preliminares en las clases de química.

## palabras clave

Cuestiones sociocientíficas, materias primas críticas, aprendizaje con medios digitales, aprendizaje cooperativo.

## abstract

Every economy depends on the supply of raw materials. Some raw materials, referred to as critical raw materials (CRM), are rare or only produced in a few countries, and this can create a supply risk. Every three years, the European Union publishes a list of these CRM for the European economy. This article describes a digital learning environment with which pupils can learn about these materials and socioscientific issues, and explains the results of the first experiences in chemistry classes.

## keywords

Socioscientific issues, critical raw materials, learning with digital media, cooperative learning.

## resum

Tota economia depèn del subministrament de matèries primeres. Algunes, les anomenades matèries primeres crítiques (MPC), són escasses o només es produeixen en uns quants països, i poden crear un risc en el subministrament. La Unió Europea publica cada tres anys una llista d'MPC per a l'economia europea. S'hi descriu un entorn d'aprenentatge digital perquè l'alumnat pugui aprendre sobre aquestes matèries i qüestions sociocientífiques, així com els resultats preliminars a les classes de química.

## paraules clau

Qüestions sociocientífiques, matèries primeres crítiques, aprenentatge amb mitjans digitals, aprenentatge cooperatiu.

## 1. Introducción

La economía de cualquier país industrializado depende del suministro de materias primas. En este contexto, la Comisión Europea escribe:

«Raw materials are crucial to Europe's economy. They form a strong industrial base, producing a broad range of goods and applications used in everyday life and modern technologies. Reliable and unhindered access to certain raw materials is a growing concern within the EU and across the globe» (Comisión Europea, 2020a).

Antes de la escasez de suministro y la restricción de las rutas de suministro como consecuencia de la pandemia de COVID-19 y de las crecientes tensiones políticas con China o Rusia, intensificadas por el inicio del ataque de Rusia a Ucrania, la garantía del suministro con materias primas ya era, para la economía europea, una preocupación social importante con un trasfondo científico-técnico: una cuestión sociocientífica (Sadler, 2011).

Las materias primas críticas (MPC) se definen como aquellas que son de gran importancia para la economía en una determinada zona y que, a la vez, tienen cierto riesgo en el suministro (Comisión Europea, 2020a). El riesgo puede ser debido a que estas materias primas son escasas en todo el mundo. Esto ocurre, por ejemplo, en el caso del platino, que solo está presente en la corteza terrestre en un valor aproximado de 0,005 ppm. Sin embargo, también puede ocurrir que haya una gran dependencia del suministro por el hecho de que estas materias primas solo están disponibles en pocos países o que solo se extraen en condiciones económicamente viables. El ejemplo más conocido es segura-

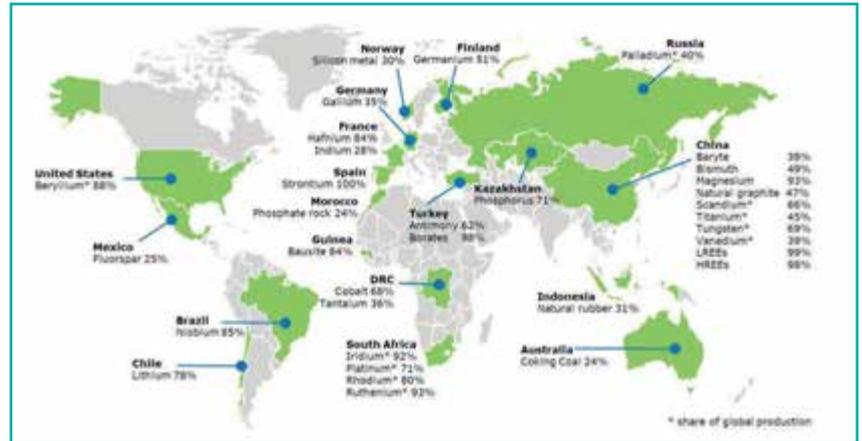


Figura 1. Países con mayor porcentaje de abastecimiento de MPC para la UE (Comisión Europea, 2020b).

mente el de las tierras raras. En este caso, la Unión Europea (UE) satisface cerca del 98% de sus necesidades de suministro exclusivamente en la República Popular China (fig. 1). Además, algunas materias primas se producen en regiones que son políticamente inestables o conflictivas. Este es el caso, por ejemplo, del cobalto y el tantalio, que se extraen principalmente en la República Democrática del Congo (fig. 1).

Desde el año 2011, la Comisión Europea analiza cada tres años la importancia económica y el riesgo de suministro de las materias primas no agrícolas más importantes para garantizar su suministro. También del caucho natural, que es la única materia prima agrícola de la lista debido a su importancia para la producción de neumáticos.

En otras entidades, como por ejemplo el US Geological Survey en EE. UU., también realiza análisis similares que evidentemente obtienen resultados diferentes debido a otras necesidades económicas y al hecho de poseer recursos propios diferentes de los europeos. No obstante, Estados Unidos clasifica actualmente como críticas un total de 50 materias primas minerales, entre ellas las menas de algunos metales industriales o las tierras

raras, y también el espato flúor y el grafito (US Geological Survey, 2022). EE. UU. se refiere no solo a la importancia para la economía, sino también para la seguridad nacional, y define los minerales críticos de la forma siguiente:

«The Energy Act of 2020 defines a critical mineral as a non-fuel mineral or mineral material essential to the economic or national security of the U.S. and which has a supply chain vulnerable to disruption. Critical minerals are also characterized as serving an essential function in the manufacturing of a product, the absence of which would have significant consequences for the economy or national security» (US Geological Survey, 2022).

En 2011 se incluyeron por primera vez 14 materias primas críticas en la lista de materias primas críticas de la UE. En 2014 la lista era de 20, en 2017 el número se incrementó hasta 27 y en 2020 ya había las 30 materias primas críticas que consideramos actualmente. Sin embargo, también se consideran materias primas las del grupo del platino o de las tierras raras ligeras y pesadas. Por lo tanto, hay más de 40 materias primas en total que se consideran críticas para la economía europea.

Una posible solución para el suministro de materias primas críticas sería un buen sistema de recogida y reciclaje. Sin embargo, para muchas de ellas esto aún no está establecido. Por ejemplo, en Alemania solo se recuperan mediante el reciclaje el 1% de las tierras raras que son importantes para la industria electrónica y la expansión de las energías renovables. La falta de reciclaje también afecta a la mayoría del resto de materias primas críticas de la lista (Comisión Europea, 2020b). Del 77% de todas las materias primas de la lista solo se reciclan aproximadamente un 10% (Furze & Harrison 2021, p. 4).

Por lo tanto, llevar a las aulas actividades sobre la cuestión sociocientífica del suministro de materias primas críticas contribuye a la educación para el desarrollo sostenible en la enseñanza de química (Burmeister, Rauch y Eilks, 2012). Esto permite aprender, desde la perspectiva de los productos químicos, sobre posibles cambios en las materias primas, que se trata en detalle en el *Global Chemicals Outlook* del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2019) y, por consiguiente, hace posible contribuir al aprendizaje sobre el desarrollo de una química sostenible (Zuin, Eilks, Elschami y Kümmerer, 2021).

Hasta ahora, el tema de las materias primas críticas no está incluido de manera específica en las directrices curriculares. Sin embargo, el tema puede abordarse en el primer ciclo de secundaria en los temas de los metales y su extracción, así como en las familias de elementos, la estructura atómica y la tabla periódica de materias primas fundamentales. En el segundo ciclo de secundaria, el tema puede utilizarse como punto de partida de preguntas mediante las cuales se pueden evaluar las consecuencias

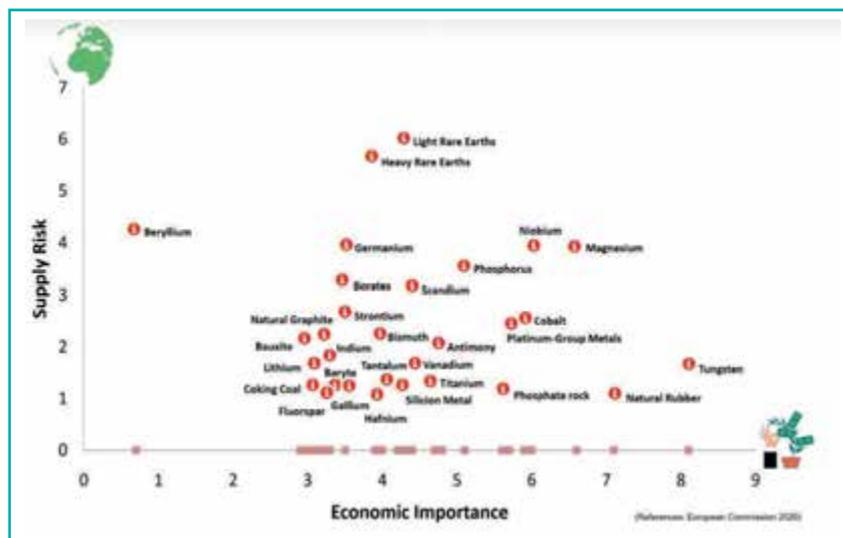


Figura 2. Acceso a materias primas críticas en el entorno de aprendizaje basado en la Comisión Europea (2020b).

potenciales de los avances químico-técnicos. También pueden incluirse en este contexto los principios de la química sostenible: ciclos cerrados de materiales, química verde, minimización de residuos, optimización de procesos y eficiencia energética.

En este artículo se presenta un entorno digital de aprendizaje que el profesorado puede utilizar de formas diversas en la enseñanza para permitir estrategias de aprendizaje individualizado y cooperativo. El entorno de aprendizaje está disponible en alemán y en inglés, y puede transferirse a otros idiomas como Recurso Educativo Abierto (REA) y adaptarse en cada caso.

## 2. Aprendizaje digital y cooperativo sobre materias primas críticas en las clases de química

Basándose en la *Cognitive Load Theory* (Sweller, 2005) y en la *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (Mayer, 2014), se creó un entorno de aprendizaje digital a partir de la lista de materias primas críticas de la Comisión Europea (Comisión Europea, 2020b). El entorno de aprendizaje se programó con el *software* gratuito de código abierto H5P.

Este programa ofrece más de 40 tipos de contenidos diferentes (Joubel, 2022). Los entornos de aprendizaje se adaptan a cualquier dispositivo, por lo que son compatibles con el PC, el *smartphone* o la tableta.

Para el entorno de aprendizaje se eligió el tipo de contenido H5P *image hotspots*. Basándose en los datos y las clasificaciones de la Comisión Europea (Comisión Europea, 2020b), se creó un diagrama de dispersión con 30 puntos de información sobre los que se podía hacer clic para acceder a la información (fig. 2). Los puntos de información indican las posiciones de las materias primas en función de su importancia económica y del riesgo de suministro.

Detrás de cada punto hay informaciones sobre la materia prima crítica correspondiente, que siempre está estructurada de la misma manera, y sobre el origen de las materias primas. Se explica también su uso, por qué es una materia prima crítica y si existen sustancias alternativas (fig.2).

Consultando la información, los alumnos perciben hasta qué punto la dependencia de las importaciones de materias primas puede repercutir en la economía

**Cobalt (Co)**

**What is cobalt and where does it come from?**

Cobalt is a silver-gray metal. It is primarily mined in the Democratic Republic of the Congo (DRC). Mining in the DRC accounts for 59% of the world's production. In the EU, only 1% of the world production is mined in Finland.

**What is cobalt used for?**

Cobalt is mainly used in the production of lithium-ion batteries. These batteries have higher energy and power density than other types of batteries. Therefore, lithium-ion batteries are used in many portable electronic devices, such as smartphones, tablets, and laptops. Cobalt is also used for magnets that are used in electric motors (e.g. in electric vehicles and renewable wind-energy plants).



**Why is cobalt a critical raw material?**

Cobalt is rarely found around the world. The EU relies almost entirely on imports. 80% of these imports come from the Democratic Republic of the Congo (DRC). In the DRC, cobalt is extracted through artisanal and small-scale mining. The miners are exposed to dangers of landslides, heavy metal poisoning (through inhalation of dust), and food and water pollution. In addition, there is often child labor in cobalt mines. Without cobalt, the production of smartphones and tablets as well as the expansion of the electric vehicle production and renewable energy supply may come to a stop.

**Can cobalt be replaced by other substances?**

Cobalt can be replaced by nickel or manganese, e.g., in batteries. This leads, however, to a loss in performance and safety.

References: Hollemann, A., Wiberg, N. (2016). Anorganische Chemie. Heidelberg: De Gruyter.; European Commission (2020). Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020). Critical Raw Materials Factsheets (Final), 4-23. [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en) (accessed 16.11.2021).

Figura 3. Textos del entorno digital de aprendizaje sobre materias primas críticas con el ejemplo del cobalto.

de Europa, ya que casi todas las materias primas críticas (con algunas excepciones, véase fig. 1) casi no se extraen en la UE. Además, algunas informaciones sobre el uso de materias primas se muestran a través de ejemplos familiares para el alumnado, y cuya importancia social y económica les resulta reconocible. Además, los alumnos pueden acceder a información sobre las posibilidades de sustitución y de reciclaje de las distintas sustancias, y constatar que muchas materias primas críticas son difíciles o imposibles de sustituir. La información está muy simplificada, de manera que incluso los alumnos más jóvenes pueden realizar, de forma autónoma, el estudio y evaluación de alguna materia prima y de esta manera sensibilizarse sobre aspectos de economía sostenible.

### 3. Utilización del entorno de aprendizaje en las clases de química

El entorno de aprendizaje puede utilizarse de forma coope-

rativa, promoviendo el trabajo en equipo, la autonomía y la capacidad de comunicación. El aprendizaje cooperativo tiene como principal objetivo el aumento de la implicación del alumnado para conseguir un aprendizaje más eficaz (Lazarowitz y Hertz-Lazarowitz, 1998). Se utilizó la técnica Jigsaw, también conocida como técnica del puzle o del rompecabezas en grupos, o grupos base y grupos de expertos (Aronson et al., 1978).

Se dedicaron dos horas lectivas (de 45 minutos cada una) a la realización de esta dinámica grupal. El punto de partida fueron objetos cotidianos. Se formaron cinco grupos de expertos, cada uno de los cuales se ocupó de un *smartphone*, un coche eléctrico, una turbina eólica, un sistema solar y la industria de la iluminación.

Especialmente tras la pandemia de COVID-19 se han originado problemas de suministro relacionados con los *smartphones*, las tabletas y los coches eléctricos. También, a partir del

año 2022, se ha producido un fuerte aumento de los precios de la energía debido a la invasión de Ucrania por parte de Rusia.

Los alumnos pueden establecer conexiones con su vida cotidiana y sus hábitos de consumo y reconocer la problemática. Los grupos de expertos utilizan el entorno de aprendizaje para explorar el concepto de materias primas críticas. Identifican las materias primas críticas utilizadas en productos cotidianos, el motivo por el cual son críticas y si existe posibilidad de sustitución. Los expertos de cada grupo inicial son los responsables de cada uno de los cinco temas cuando vuelven a los grupos base. A continuación, los alumnos se explican entre sí qué materias primas críticas han identificado y para qué se utilizan. Al final, todo el grupo discute sobre la experiencia de aprendizaje y sobre el papel que las materias primas críticas juegan en los productos cotidianos modernos y en la economía. El debate puede llevarse a cabo en pequeños

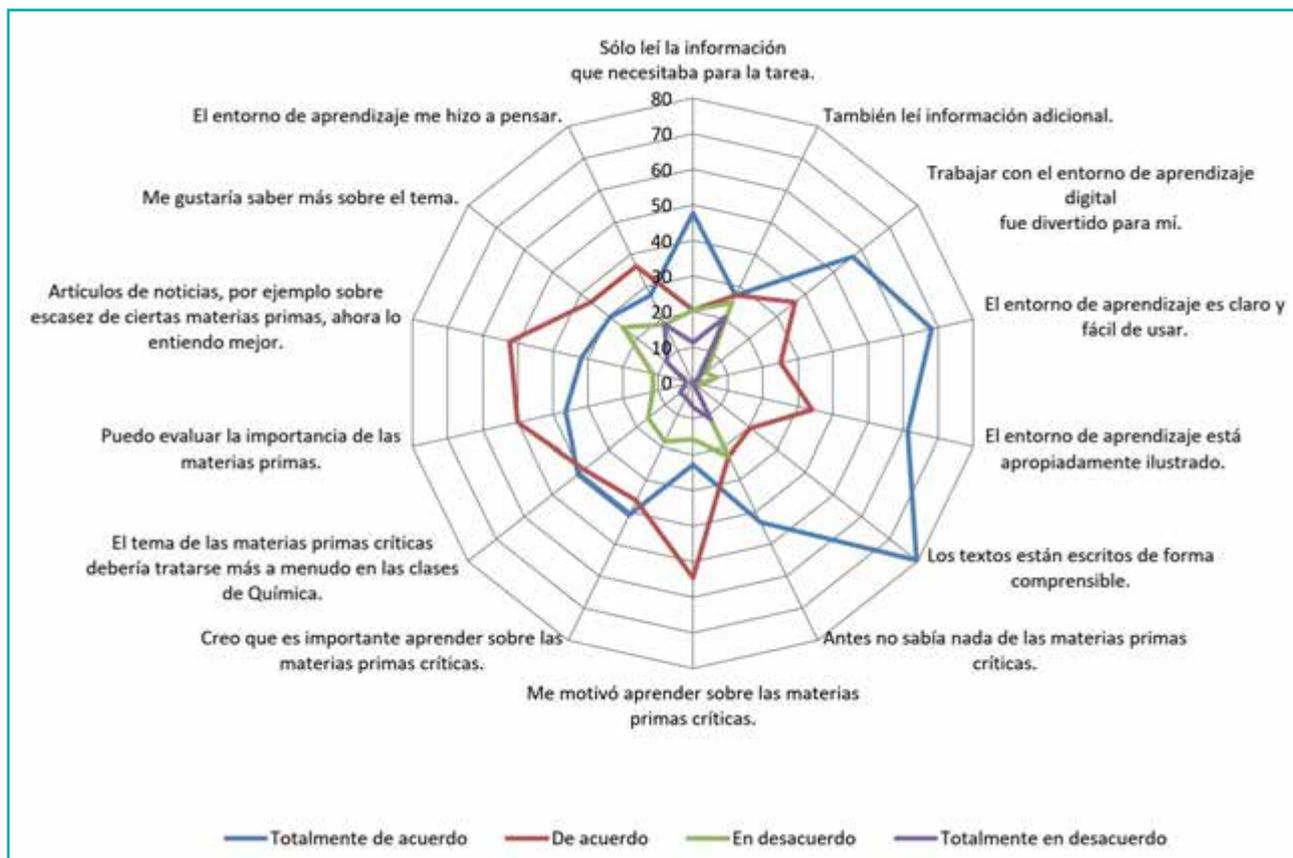


Figura 4. Comentarios de los alumnos del primer ciclo de secundaria.

grupos o puede ser dinamizado en todo el grupo clase.

#### 4. Experiencias y comentarios del alumnado

El entorno de aprendizaje se utilizó con la dinámica de grupos anteriormente descrita en cuatro grupos clase. Participaron alumnos de dos cursos del primer ciclo de secundaria (14-15 años; N = 44) y de dos clases al inicio del segundo ciclo de secundaria (16-17 años; N = 35). Los comentarios del alumnado sobre el entorno de aprendizaje digital y las clases se recogieron mediante un cuestionario.

Los comentarios muestran que el tema despertó el interés de los alumnos y les resultó muy motivador. También muestran que, en todos los grupos de alumnos, el 94% de los alumnos disfrutó del trabajo en el entorno de aprendizaje. Los alumnos vieron el valor de este entorno principalmente en la presenta-

ción resumida de las informaciones. Además, valoraron la forma de presentación y la facilidad de uso del entorno de aprendizaje como aspectos positivos. También es interesante que más de la mitad de los alumnos afirmaron que antes no habían oído hablar de las materias primas críticas. Sin embargo, después de dos horas de clase, el 93% (73 de 79 alumnos) consideró que podía apreciar la importancia de las materias primas críticas. El 85% de los alumnos piensa que este tema debería tratarse más en las clases de Química y el 87% lo considera importante. Los alumnos también manifestaron el deseo de acceder a más informaciones y continuar con más posibilidades de investigación. Naturalmente, la valoración de los alumnos del segundo ciclo de secundaria fue algo más positiva que la de los alumnos de los primeros cursos (figs. 4 y 5), ya que fueron más capaces de

El entorno de aprendizaje presentado demuestra que es posible desarrollar, de manera guiada, las ideas básicas del concepto de materias primas críticas en el alumnado de las clases de química a partir del primer curso de secundaria (14-15 años).

aprovechar la información ofrecida. Los resultados de las respuestas a las preguntas tipo Likert se vieron corroboradas por los comentarios de los alumnos a una pregunta abierta sobre lo que creían que habían aprendido (fig. 6).

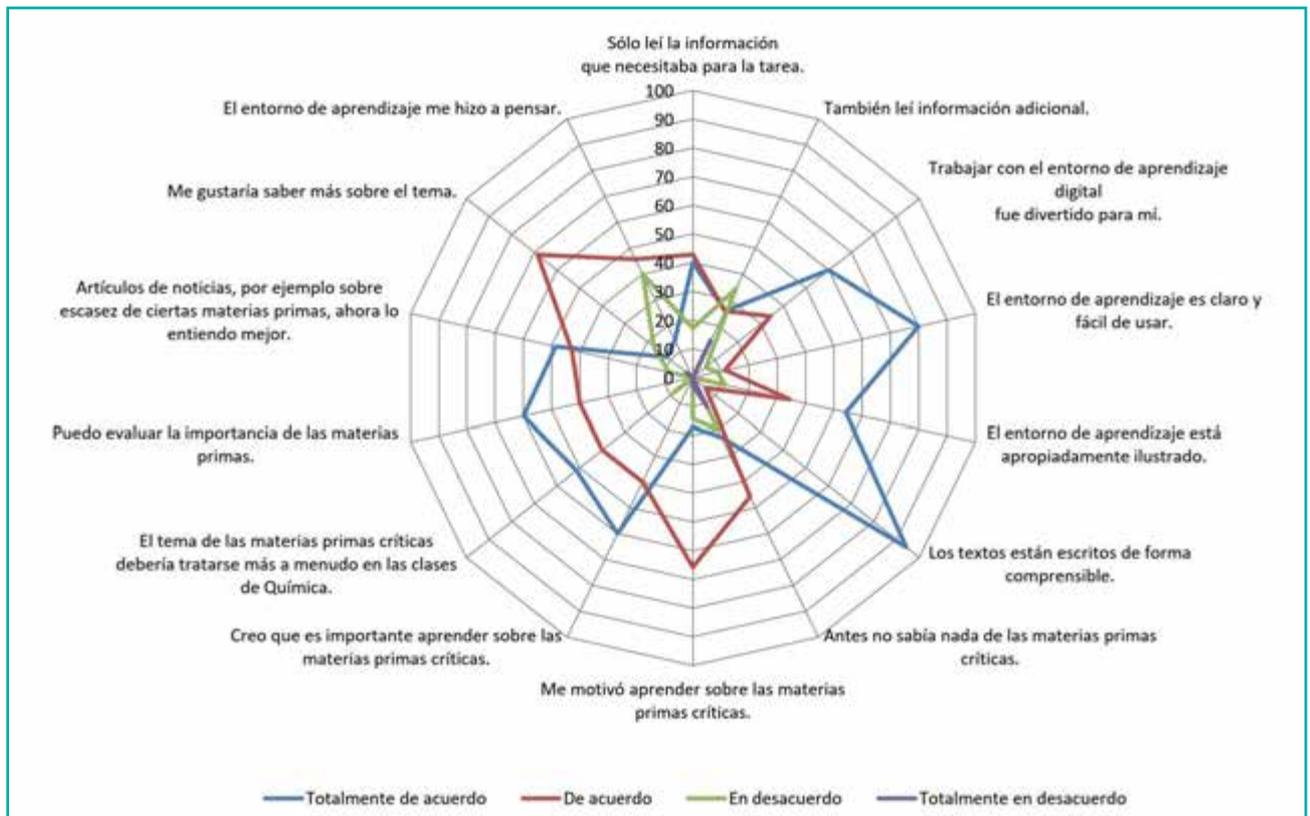


Figura 5. Comentarios de las dos clases al inicio del segundo ciclo de secundaria.



Figura 6. Respuestas de los alumnos a una pregunta abierta sobre lo aprendido.

## 5. Perspectivas

El entorno de aprendizaje presentado demuestra que es posible desarrollar, de manera guiada, las ideas básicas del concepto de materias primas críticas en el alumnado de las clases de química a partir del primer curso de secundaria (14-15 años). Este entorno es adecuado para contribuir a sensibilizar a los alumnos de la limitada disponibilidad de determinadas e importantes materias primas, así como sensibilizarlos de los posibles riesgos de suministro. Se espera que esto pueda ser también una contribución al consumo responsable, que a largo plazo y complementado con otras actividades de aprendizaje, oriente al alumnado a actuar de forma más sostenible.

El entorno de aprendizaje en alemán e inglés puede consultarse en el siguiente enlace:



## Referencias

- ARONSON, E.; STEPHAN, C.; SIKES, J.; BLANEY, N.; SNAPP, M. (1978). *The Jigsaw Classroom*. Beverly Hills, CA: Sage Publication.
- BURMEISTER, M.; RAUCH, F.; EILKS, I. (2012). «Education for Sustainable Development (ESD) and secondary chemistry education». *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 13, nº. 2, p. 59-68.
- EUROPEAN COMMISSION (2020a). *Critical raw materials*. Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. <[https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en)> (Consulta: 09 enero 2023).
- EUROPEAN COMMISSION (2020b). *Study on the EU's list of critical raw materials*. <<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42883/attachments/2/translations/en/renditions/native>> (Consulta: 09 enero 2023).
- FURZE, J.; HARRISON, T. (2021). *Elements in danger! When talking of finite resources, the chemical elements themselves are often overlooked. Learn more about elements in danger*. *Science in School*. The European journal for science teachers, p. 1-6.
- JOUBEL (2022). *Create, share and reuse interactive HTML5 content in your browser*. H5P. <<https://h5p.org>> (Consulta: 09 enero 2023).
- LAZAROWITZ, R.; HERTZ-LAZAROWITZ, R. (1998). «Cooperative learning in the science curriculum». In B. J. Fraser, K. B. Tobin (ed.): *International Handbook of Science Education*, p. 449-470. Dordrecht: Kluwer.
- MAYER, R. E. (2014). «Cognitive Theory of Multimedia Learning». In R. E. Mayer (ed.): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2 ed.) p. 43-71. New York: Cambridge.
- SADLER, T. D. (2011). *Socioscientific issues in the classroom*. Cham: Springer.
- SWELLER, J. (ed.). (2005). «Implications of cognitive load theory for multimedia learning». In R. E. Mayer (ed.): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, p. 19-30. New York: Cambridge University Press.
- UNEP (eds.) (2019). *Global chemicals outlook II*. UN environment programme. <<https://www.unep.org/resources/report/global-chemicals-outlook-ii-legacies-innovative-solutions>> (Consulta: 09 enero 2023).
- US GEOLOGICAL SURVEY (2022). *2022 list of critical minerals*. USGS Science for changing world. <<https://www.usgs.gov/news/national-news-release/us-geological-survey-releases-2022-list-critical-minerals>> (Consulta: 09 enero 2023).
- ZUIN, V.G.; EILKS, I.; ELSCHAMI, M.; KÜMMERER, K. (2021). «Education in Green Chemistry and in Sustainable Chemistry: Perspectives towards sustainability». *Green Chemistry*, vol. 23, p. 1594-1608.



### Jana-Christin Bütow

Estudió química y español para la docencia en la Universidad de Bremen entre 2017 y 2022. Actualmente, es profesora en prácticas en el Studien-seminar Stade y en el instituto Waldschule Hagen-Beverstedt. C. e.: janabuetow@web.de



### Ingo Eilks

Catedrático de didáctica de química en la Universidad de Bremen. Sus principales áreas de trabajo incluyen métodos alternativos de enseñanza, enseñanza sociocrítica, educación para el desarrollo sostenible y aspectos de la educación extraescolar y universitaria. En el año 2017 recibió el Award for Outstanding Contributions to the Incorporation of Sustainability into Chemical Education de la American Chemical Society. C. e.: ingo.eilks@uni-bremen.de