

Piensa y actúa glocal. Coltán y residuos electrónicos en la enseñanza de problemas socio-ambientales asociados a la gestión de recursos minerales

Thinking and acting glocally. Coltan and electronic waste in the teaching of social and environmental issues related with the management of mineral resources

GUILLERMO FRANCISCO RIVERO¹, GUILLERMO MARTÍNEZ GUTIÉRREZ² Y ESPERANZA M. FERNÁNDEZ MARTÍNEZ³

¹ Avda. Mariano Andrés, n° 117 2ºA. 24008, León. E-mail: gfrivero@hotmail.com

² C/Moisés de León, n° 47 2º B. 24006, León. E-mail: Oguillermomartinez@gmail.com

³ Área de Paleontología. Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. Campus de Vegazana, s/n. Universidad de León. 24071 León. E-mail: e.fernandez@unileon.es

Resumen Esta propuesta abarca un conjunto de actividades didácticas que permiten trabajar la gestión de los recursos minerales bajo una perspectiva sistémica, empleando para ello la oportunidad que ofrece la minería del coltán y la fabricación y eliminación de los productos tecnológicos, actividades con importantes impactos ambientales, económicos y sociales. La aplicación en el aula está organizada de forma que el alumnado se vaya implicando progresivamente en este problema, permitiendo trabajar diferentes capacidades relacionadas principalmente con las competencias científica, social y ciudadana, además del uso de nuevas tecnologías de la información y la comunicación. El objetivo final es fomentar en los alumnos su capacidad de comprensión crítica de un entorno que está repleto de aparatos tecnológicos fabricados con recursos minerales no renovables y, con frecuencia, asociados a problemas medioambientales y sociales. Dicha capacitación favorece la toma de decisiones éticas y responsables en lo que a su vida cotidiana se refiere. A modo de ejemplo, se comentan algunos de los resultados obtenidos en la aplicación de las actividades propuestas, realizada con un grupo de estudiantes de 1º de Bachillerato en el centro IES Ordoño de León.

Palabras clave: Acción social, coltán, competencia científica, residuos electrónicos, sostenibilidad.

Abstract This project includes a set of learning activities that enable students to work on mineral resource management with a systemic approach. Coltan mining and the manufacture and disposal of technological products have a major environmental, economic and social impact, providing an excellent project opportunity. These activities are implemented in the classroom in a way that the students become progressively involved in this issue. They encourage different capacities, mainly related to scientific, social and citizenship skills, along with the use of new information and communication technologies. The ultimate goal of this project is to encourage students to analyse and critically understand a technologically-rich environment where gadgets are manufactured from non-renewable mineral resources and often lead to environmental and social problems. This training encourages students to make responsible and sustainable decisions in their everyday life. This project was tested on a group of 1st Bachillerato high school students from IES Ordoño II (Leon) and its results are included.

Keywords: Social action, coltan, scientific skill, electronic waste, sustainability.

“¿Por qué esta magnífica tecnología científica, que ahorra trabajo y nos hace la vida más fácil, nos aporta tan poca felicidad? La respuesta es ésta, simplemente: porque aún no hemos aprendido a usarla con tino.”

ALBERT EINSTEIN (1879-1955)

INTRODUCCIÓN

¿Quién no ha utilizado nunca un ordenador de sobremesa o un portátil? ¿O un móvil, una consola de videojuegos o una televisión de plasma? ¿O incluso una *tablet* o un *e-reader*? Pero, ¿sabemos cómo se obtienen las materias primas que se emplean en su fabricación? ¿Somos conscientes de dónde terminan estos aparatos una vez que son desechados? En la actual *era de la información* muchos de estos productos tecnológicos se han convertido en objetos imprescindibles en la vida cotidiana de millones de personas en todo el mundo, especialmente en los denominados países desarrollados. Todos estamos acostumbrados a usarlos, con diferentes fines, en la escuela, en el trabajo o en nuestro hogar. Sin ir más lejos, es probable que el acceso a este mismo artículo se haya producido empleando alguno de estos recursos tecnológicos. No obstante, si bien son innegables los grandes beneficios de estas nuevas tecnologías, aún existe un gran desconocimiento entre la población de los enormes impactos ambientales y sociales que, en muchas ocasiones, conllevan su fabricación, uso y eliminación (Hayes y Burge, 2003).

Centrándonos en el ámbito educativo, la situación descrita hace necesario y prioritario un mayor conocimiento de esta problemática por el alumnado, conocimiento que redundaría en la formación de una ciudadanía más responsable y respetuosa con su entorno natural y social. El propio Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, *por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria*, incide en la importancia de desarrollar en el alumnado la capacidad de interpretar, predecir y tomar decisiones con iniciativa y autonomía personal, en especial respecto a esa influencia que los nuevos avances científico-tecnológicos producen en la sociedad y en el mundo natural. Resulta evidente que un mundo más sostenible requiere de una enseñanza consecuente con el presente contexto económico, social y ambiental.

En este marco, las disciplinas relacionadas con las Ciencias de la Tierra deben actuar como una puerta abierta a la enseñanza de contenidos, procedimientos y actitudes relacionadas con todos estos nuevos retos a los que la humanidad debe hacer frente. Por tanto, la impartición de estas asignaturas no debe limitarse a dar a conocer una serie de datos científicos, sino también buscar una integración de los mismos con la realidad socioeconómica y ambiental, en línea con la idea de competencia científica propugnada por la Unión Europea, y aceptada en nuestra legislación bajo el nombre de *Competencia básica en el conocimiento y la interacción con el mundo físico*. Dicha competencia científica puede ser definida como el *conjunto integrado de capacidades para utilizar el conocimiento científico a fin de describir, explicar y predecir fenómenos naturales; para comprender los rasgos característicos de la ciencia; para formular e investigar problemas e hipótesis; así como para documentarse, argumentar y tomar decisiones personales y sociales sobre el mundo natural y los cambios que la actividad humana genera en él* (Pedrinaci, 2012). En esta misma

línea, De Pro (2012) considera que *parece “inevitable” seleccionar contenidos que incidan en las implicaciones personales y sociales de las ciencias, sin las cuales resultaría prácticamente imposible comprender, predecir, actuar, desenvolverse, aplicar... en los términos que marca el currículo oficial*.

Todo lo indicado anteriormente redundaría en la idea de que es fundamental que el docente desarrolle en el aula determinadas actividades que faciliten esta integración del conocimiento, haciendo plenamente partícipes a sus estudiantes de las implicaciones que tiene, tanto a nivel individual como global, esta información científica. Pero esta no es una tarea sencilla en la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias de la Tierra, donde se encuentra una compleja serie de aspectos científicos, técnicos, económicos, ambientales y sociales implicados e interrelacionados, especialmente en las cuestiones relativas a la gestión de recursos (Pascual, 2008). En este campo, ciertos objetos de estudio comprenden la intervención de un número importante de elementos, muy alejados entre sí, y entre los que tiene lugar una cantidad significativa de interacciones. Sin duda, es recomendable realizar el análisis de estos casos desde una perspectiva holística, para lo cual el enfoque sistémico es el mejor dotado conceptualmente (Pedrinaci, 2001).

Además, estos problemas ambientales de tipo sistémico presentan connotaciones con un carácter doble, a la vez *local* y *global*, relacionándose y retroalimentándose entre sí de forma tan estrecha que pueden ser denominados como *glocales* (Vilches y Gil, 2009). Por tanto, un correcto análisis y tratamiento de estos temas en el aula deberá partir desde la *glocalidad* como forma más adecuada para el acercamiento de los estudiantes al tema, esto es, no caer en el reduccionismo de trabajar solamente desde una perspectiva local o global, sino tener en consideración ambas, así como sus posibles interrelaciones y sinergias. De esta forma, se aporta una visión del trabajo científico y tecnológico más cercana a la realidad, contribuyendo significativamente a una formación ciudadana más ética y, en particular, a una mejor formación de futuros científicos y científicas.

Sin embargo, en muchas ocasiones todo el esfuerzo dedicado al tratamiento de estos temas en el aula resulta infructuoso y frustrante, tanto para docentes como para estudiantes. Una de las causas es que, con frecuencia y como bien ha expresado Osborne (2006) *el problema de las asignaturas de ciencias es que ofrecen respuestas poco interesantes a preguntas que nunca nos hemos planteado*. La búsqueda de un tema de trabajo motivador, contextualizado en la vida del estudiante y con contenidos que permitan alcanzar estos objetivos, así como una correcta organización y orientación de las actividades a desarrollar, serán algunas de las claves del éxito.

En este sentido, la extracción del coltán en el este de la República Democrática del Congo y su posterior empleo en la fabricación de multitud de productos tecnológicos constituye una oportunidad especialmente interesante para poder trabajar con los alumnos bajo este enfoque sistémico. Además, el coltán se encuentra en numerosos aparatos uti-

lizados por los estudiantes en su vida diaria y su empleo tiene importantes connotaciones socio-ambientales a nivel global. Así, la utilización del coltán como elemento central de las actividades satisface una de las principales necesidades de la Didáctica de las Ciencias, su transformación en una *enseñanza contextualizada* (Caamaño, 2005). Para lograr este tipo de enseñanza se identifican diferentes elementos de uso cotidiano para el alumno (como es el caso de móviles, videoconsolas, etc.) y, con base en ellos, se realiza el estudio de aspectos presentes en el currículum, como son los recursos minerales, su origen, su utilización o su no renovabilidad.

Con objeto de dar respuesta a todas estas cuestiones, esta propuesta se estructura en un conjunto de actividades organizadas temporalmente y articuladas en una serie de fases diferenciadas que hemos denominado 0/ Preparación, 1/ Información, 2/ Concienciación, 3/ Acción y 4/ Reflexión. El desarrollo progresivo de las actividades propuestas en estas fases debe permitir no solo que el alumnado conozca y analice críticamente la situación concreta de la gestión de este mineral, sino también que sea capaz de extrapolar este conocimiento a situaciones análogas, esto es, al consumo de otros recursos minerales estratégicos y no renovables de los que depende el actual sistema económico, y cuyo esquema de explotación se repite en diferentes países.

Paralelamente y a un nivel más pedagógico, las actividades propuestas buscan fomentar el trabajo de indagación por parte del alumnado. Al hacerlo, apoyamos la idea de que la investigación escolar es el tipo de actividad que mejor integra el aprendizaje de los diferentes procedimientos científicos (ver, por ejemplo, Caamaño, 2012). Este modelo de enseñanza-aprendizaje se basa en la introducción de problemas relevantes cuya solución requiere no sólo adquirir conocimientos científicos, sino también el desarrollo y utilización de los mismos. En este caso, se plantea un problema relacionado con la gestión de un recurso mineral y, apoyándose en el uso de una webquest sencilla, se diseña una estrategia dirigida que incluye la formulación de una serie de cuestiones sin responder (*¿qué mineral contienen ciertos dispositivos tecnológicos de uso cotidiano? ¿qué realidad se esconde tras ellos? etc.*).

Por último, indicar que se parte de la base conceptual de que un mejor conocimiento del tema suscitará una mayor implicación y concienciación de los alumnos al respecto. El ulterior objetivo es que ellos mismos, de forma autónoma y voluntaria, sean capaces de analizar su *entorno tecnológico* con espíritu crítico y basado en el conocimiento científico actual, así como fomentar el desarrollo de conductas y prácticas más responsables en su vida cotidiana.

ANTECEDENTES

Por sus especiales propiedades superconductoras, el coltán se ha convertido en un material estratégico para la industria tecnológica, sobre todo en sectores como las telecomunicaciones, la industria aeroespacial, nuclear, petroquímica, militar y sanitaria, entre otras. Sin embargo, la explotación en África de este recurso está ligada a importantes con-

flictos bélicos relacionados con su control. También se han denunciado las condiciones de semi-esclavitud y explotación infantil ligadas a la extracción y comercio de este recurso. Además, ambos problemas se desarrollan en un marco de desastres medioambientales con gravísimas repercusiones sobre los ecosistemas, la flora y la fauna locales, incluyendo daños irreversibles a algunas especies protegidas (gorilas, chimpancés, elefantes). Aunque este recurso mineral no existe solamente en África, es en esta región geográfica donde se concentra la mayor parte de reservas conocidas, con aproximadamente un 80% de las reservas mundiales totales (Montagne, 2002) y donde su explotación está generando los mayores problemas sociales y ambientales.

Numerosas resoluciones del Consejo de Seguridad de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), al igual que sucesivos informes de las misiones de pacificación enviadas por este organismo a dicho país, han venido señalando la estrecha relación entre la extracción del coltán y la situación de violencia generalizada que se vive en el este de la RD del Congo, con una guerra que se ha cobrado ya más de 4 millones de víctimas. Paralelamente, importantes multinacionales del mundo de la tecnología, las telecomunicaciones y la industria aeroespacial de los principales países occidentales se ven beneficiadas con el comercio internacional de este mineral, tal como subrayan los informes de la ONU (2001). Mientras tanto, en el primer mundo y aprovechándose del mayoritario desconocimiento de esta situación por parte de la sociedad, estas multinacionales se afanan por crear un clima de consumismo masivo, lanzando continuamente al mercado nuevas versiones del mismo producto, con agresivas campañas de marketing y forzando la obsolescencia de los anteriores dispositivos mediante prácticas como la no fabricación de accesorios y repuestos para los mismos. A modo de ejemplo de lo que ha dado en llamarse obsolescencia programada, la vida media de un ordenador personal en EEUU ha pasado de seis años en 1999, a menos de dos años en 2005 (National Safety Council, 2006).

Y tras su vida útil, cerrando este catastrófico ciclo, los residuos electrónicos generados terminan frecuentemente siendo gestionados de forma ilegal en macro-vertederos de países de África y Asia. Este es el caso del localizado en Guiyu, en la provincia de Guandong (China) (Figura 1) donde se han constatado los fuertes impactos sobre la salud humana y los ecosistemas terrestres y acuáticos generados por los residuos electrónicos allí depositados (Guo et al., 2009). La expansión de estos macro-vertederos electrónicos tiene su origen en el reducido porcentaje de elementos electrónicos que son reciclados: solo en EEUU y en el año 2005, se generaron más de 2,4 millones de toneladas de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), de los que fueron reciclados tan sólo el 9% (Yadong et al., 2005).

Diferentes investigaciones, como por ejemplo el informe *Recycling: From e-waste to resources* del United Nations Environment Programme y de la United Nations University (2009), confirman los efectos perjudiciales de esta gestión ilegal de residuos peligrosos, dotados con altos contenidos en metales pesados tóxicos (cromo, cadmio, bario,



Fig. 1. Vertedero de Guiyu. Los niños son un grupo de riesgo con una elevada sensibilidad ante la contaminación química de los componentes tóxicos contenidos en los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (Fuente: www.greenpeace.org).

Tabla I. Experiencias previas de tratamiento del tema en España

etc.). Este estado representa, además, una notoria oportunidad perdida para el reciclaje de materias primas.

Por tanto, una problemática en principio local, la extracción del coltán, tiene su origen en intereses creados en lugares muy alejados de las zonas de explotación, donde son consumidos los productos manufacturados. Además, esta situación tiene también implicaciones y consecuencias sociales y ambientales en diferentes lugares, tanto en la zona de origen de obtención del recurso como en la zona de depósito del residuo una vez consumido el producto.

Parecería lógico que un tema de este carácter hubiese tenido una gran repercusión en los medios de comunicación. En España, aunque existió cierto *boom* hace algún tiempo, la información se presenta habitualmente sesgada, no relacionando la explotación del recurso con el conflicto bélico. Tampoco se

enfatisa su relación con la gestión ilegal de los residuos electrónicos, no asumiendo un enfoque sistémico del problema, es decir, no considerando todo el proceso de forma conjunta. Esta visión incompleta transmitida por la mayoría de los “mass media” obliga a facilitar el adecuado acercamiento de los estudiantes a esta temática, debiendo ser capaces de asimilar las diferentes interrelaciones existentes, para integrar la información que les puede llegar desde distintas fuentes.

Las repercusiones sociales del coltán y sus repercusiones en la enseñanza de asignaturas de Ciencia, Tecnología y Sociedad fueron abordadas por Duque y Mateos (2004). Este trabajo incluye, además, gran cantidad de información sobre aspectos geológicos del coltán y los minerales que lo forman. Posteriormente, Santó y Curto (2008) incluyen el coltán en una propuesta de uso de la problemática de los recursos estratégicos como eje de trabajos en el aula o de investigación complementaria a la materia de Biología y Geología. Se trata de un artículo de gran interés para la realización de las actividades propuestas en este artículo. Por último, Pascual (2008) considera que el tema de la gestión de recursos minerales, y específicamente la explotación del coltán, permite trabajar desde una perspectiva sistémica, y reflexiona acerca de cómo un análisis profundo de esta temática podría suscitar entre los alumnos interesantes debates relacionados con la sostenibilidad en el uso de los recursos geológicos.

Este interés entre la comunidad académica se evidencia en los numerosos centros de secundaria y bachillerato españoles donde se han desarrollado actividades centradas en el coltán y su problemática. Algunas de estas experiencias se recogen en la Tabla I.

CENTRO	C.C.A.A.	CURSO	REFERENCIA
IES Recesvinto	Castilla y León	3º y 4º ESO. y 1º Bach.	http://www.concejoeducativo.org/article.php?id_article=317
IES María Guerrero	Madrid	2º ESO	http://ies.mariaguerrero.colladovillalba.educa.madrid.org/ies/index.php/ellos-extraen-el-coltan-y-nosotros-les-sacamos-el-alma/
IES Julián Andugar	Murcia	4º ESO	http://www.educacontic.es/blog/proyectos-de-los-alumnos-de-diversificacion-del-ies-poeta-julian-andugar
IES El Palo	Andalucía	2º y 4º ESO.	http://yparaquesirvelatecnologia.blogspot.com.es/2012/01/actividad-dia-de-la-paz-el-coltan.html
IES Federico García Lorca	Castilla-La Mancha	-	http://www.iesfgl.org/index.php?option=com_content&task=view&id=210&Itemid=151
IES Alejo Vera	Castilla-La Mancha	1º ESO	http://elblogdeindalecio.blogspot.com.es/2012/10/practica-el-coltan.html7
IES Alpujarra	Andalucía	-	http://www.iesalpujarra.edu.es/?q=blog/76
IES Antonio Machado	Madrid	1º Bach.	http://www.iesmachado.org/web%20insti/depart/biogeno/apuntes/index.php?action=view&filename=Coltan%20www.htm&directory=1%BA%20BACHILLERATO/CIENCIAS%20MUNDO%20CONTEMPOR%C1NEO&PHPSESSID=doivvpoda7maviqjes7otdtr2
IES Alhadra	Andalucía	-	http://alhadradigital.wordpress.com/2009/01/28/coltanel-mineral-de-los-dispositivos-electronicos/
IES Diego Velázquez	Madrid	1º ESO	http://www.ricci-art.net/Video-Velazquez/video/zFEadvdcwBg&feature=youtube_gdata_player
IES Pablo Gargallo	Zaragoza	2º Bach.	http://geologiapablogargallo.blogspot.com.es/2012/03/conflictos-belicos-3-el-coltan.html
IES Villa de V́icar	Andalucía	4º ESO	http://ccnnzesovillavicar.wordpress.com/2012/01/14/la-guerra-del-coltan/

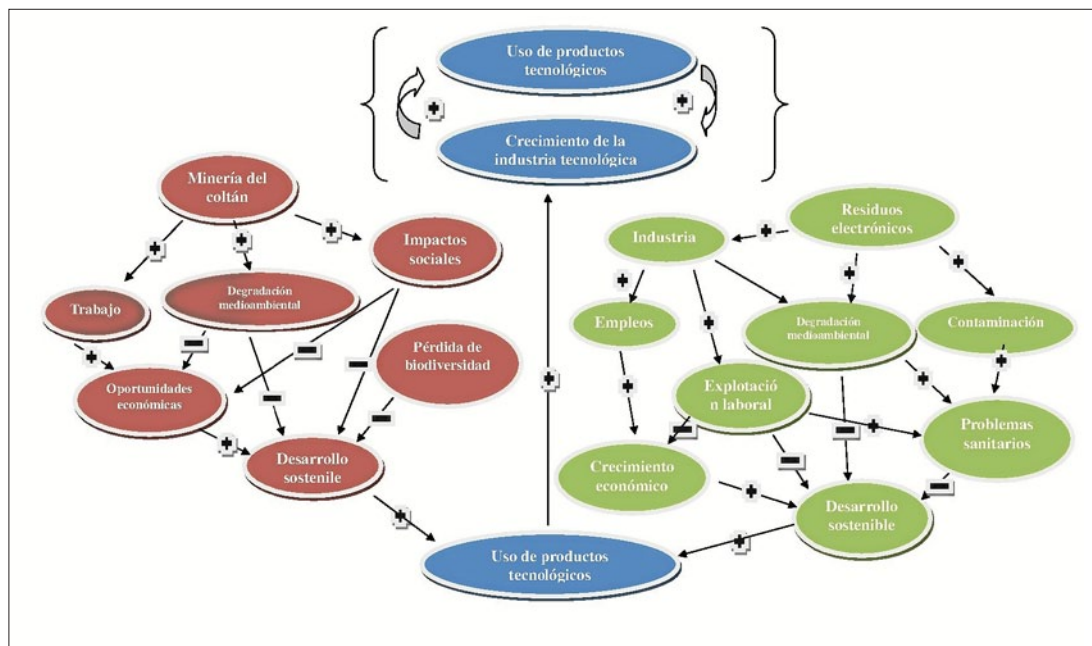


Fig. 2. Diagrama de relaciones entre la minería del coltán, la industria tecnológica y la eliminación de residuos electrónicos (Fuente: elaboración propia, adaptado de <http://sitemaker.umich.edu/section002group3/>).

Los trabajos reseñados en la Tabla I comprenden desde la mera información mediante la página web corporativa del centro, hasta actuaciones más amplias y diversas, incluyendo diferentes niveles educativos y actividades: lectura de libros, visualización de documentales, montaje propio de vídeos, realización de carteles informativos, etc. Todo ello vendría a confirmar el interés que está adquiriendo el tema en el ámbito educativo en los últimos años, si bien es cierto que, en la mayor parte de estos intentos, el tratamiento realizado no profundiza en el problema y sus soluciones, ni se incluye el tema de los residuos electrónicos.

Entre las actividades citadas, destacan el trabajo realizado en el IES Recesvinto, con actividades de concienciación de cara al resto de la comunidad educativa y de profundización en la problemática de la explotación del mineral. En este trabajo se enfatizó la acción social al participar en la campaña *Movízate por la selva* implantando un punto de recogida de móviles en el instituto. Otro ejemplo reseñable es el trabajo realizado en el IES María Guerrero, donde se sirven de una webquest para trabajar el mismo problema.

Otro tipo de actividad es la realizada por alumnos del IES Tres Cantos, que analizaron el tratamiento del tema por la prensa. Sus resultados evidencian la carencia, anteriormente reseñada, de un enfoque más amplio y que relacione la explotación del coltán con la guerra del Congo y problemáticas asociadas (Martín-Díaz et al., 2009).

Un aspecto importante y que no ha sido tratado en las experiencias anteriores, al menos con cierta profundidad, sería el análisis de la gestión de estos dispositivos electrónicos más allá de su vida útil, valorando la irregular situación actual, y los perjuicios sociales y ambientales que generan. Es decir, en una evaluación rigurosa y sistemática de la gestión del recurso, no es suficiente con analizar los impactos de su extracción sin incluir todo el ciclo de vida de los productos manufacturados. Un análisis de este sistema no debe considerar solamente los

inputs de entrada al mismo, sino también los de salida. Además, este tratamiento supone una oportunidad didáctica de trabajar temas relacionados con la gestión de residuos, y permite descubrir que la entramada red de interacciones e impactos va más allá del momento en que compramos y usamos ese producto (Figura 2).

CONTEXTO GEOLÓGICO DEL COLTÁN (COLUMBITA-TANTALITA)

El coltán es la denominación comercial de una asociación mineral formada por los minerales Columbita (óxido de hierro y niobio) y Tantalita (óxido de hierro y tántalo). Además de estos componentes también pueden contener manganeso y magnesio, aunque su interés comercial está en los elementos niobio y tántalo. Ambos minerales cristalizan en el sistema ortorrómbico y forman una solución sólida isomorfa (o serie isomorfa). Esto quiere decir que existen diferentes minerales de Columbita-Tantalita con composiciones variables de niobio y tántalo, incluidos los extremos (Columbita-Nb y Tantalita-Ta) pero todos ellos presentan la misma estructura cristalina (sistema ortorrómbico en este caso).

Para acercarnos a la composición y propiedades del coltán, se van a comentar algunos rasgos básicos sus elementos (niobio y tántalo), los minerales extremos de la serie (Columbita y Tantalita), las rocas donde se encuentran y el tipo de yacimientos en que aparece. Una descripción más completa de la geología de ambos minerales puede encontrarse en Duque y Mateos (2004).

Los elementos niobio (Nb) y tántalo (Ta)

Los elementos característicos de esta asociación mineral son el niobio (Nb, con número atómico 41 y masa atómica 92,91) y el tántalo (Ta, con número atómico 73 y masa atómica 180,95), ambos metales de transición pertenecientes al

subgrupo Va de la Tabla Periódica. En la naturaleza, se encuentran generalmente formando óxidos e hidróxidos.

Los minerales de niobio y tántalo

El niobio, también conocido como columbio, se encuentra formando parte del mineral Columbita (o Niobita), cuya fórmula química sería $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6]$. Se trata de un óxido de color negro pardo, con raya roja-negra, brillo submetálico a subresinoso, traslúcido a opaco, con buena exfoliación, fractura irregular y dureza 6 en la escala de Mohs. Sus puntos de fusión y ebullición son 2500 y 3700 °C, respectivamente. Su densidad es de 5,1 gr/cm³. Cristaliza en el sistema ortorrómbico y suele presentar cristales prismáticos, tabulares, aciculares o agregados radiados, aunque también puede ser masivo. Su alteración produce una pátina superficial de color azulado.

Su conductividad eléctrica es aproximadamente un 10% de la del cobre, pero por debajo de los 9,13 K se comporta como un superconductor. Su capacidad calorífica específica es muy alta, con más de 6.000 J/g K. Estas dos propiedades hacen del niobio un importante elemento utilizado en la construcción de máquinas y gaseoductos de alta presión y turbinas de aviones de reacción, en la fabricación de electroimanes empleados en la resonancia magnética nuclear y en el recubrimiento de las barras de combustible nuclear. Es también un elemento básico en la fabricación de ordenadores cuánticos experimentales.

Por su parte, el tántalo es un metal refractario que se encuentra formando el mineral Tantalita, cuya fórmula química es $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6]$. Es un mineral pardo-negro, de raya roja negra, brillo variable (metálico con irisaciones a submetálico y vítreo, opaco), fractura irregular y 6-6,4 de dureza en la escala de Mohs. Como el anterior, cristaliza en el sistema ortorrómbico. No obstante, posee puntos de fusión y ebullición más altos que el niobio, alcanzando los 3000 y 3400 °C respectivamente. Su densidad también es más alta, aproximadamente 8,2 gr/cm³.

Entre sus propiedades destaca su conductividad eléctrica (7,61 x 10⁶ S/m), su resistencia a la corrosión y que puede ser trabajado fácilmente a temperatura ambiente, mediante flexión, laminado y soldadura. Su utilización está principalmente ligada a la fabricación de condensadores electrolíticos constituyendo un componente esencial de los dispositivos electrónicos (teléfonos móviles, GPS, satélites artificiales, armas teledirigidas, pantallas de plasma, videoconsolas, ordenadores portátiles, PDA, reproductores de mp3, etc.) Debido a su elevada densidad y estabilidad nuclear, también es muy empleado en los contenedores de elementos radiactivos.

Las rocas donde se encuentra el coltán: Pegmatitas

Los minerales Columbita-Tantalita (Coltán) se encuentran en un tipo de roca denominado pegmatitas. Las pegmatitas son rocas ígneas, formadas a partir de un fundido (magma) silicatado rico en sílice (Si), aluminio (Al), sodio (Na), potasio (K), agua y con cantidades variables de otros componentes

más o menos volátiles: boro (B), fluor (F) y fósforo (P). La presencia de estos componentes reduce la viscosidad del fundido y permite su flujo. Estas características composicionales hacen que su intervalo de cristalización sea bastante amplio (desde ≈ 850°C a 450-500°C, bastante mayor que el de otras rocas ígneas como los granitos, cuyo intervalo va desde ≈ 850°C a 600-700°C). Todos estos factores (composición y enfriamiento-cristalización) favorecen el mayor desarrollo y crecimiento de los cristales o minerales. Por esta razón las pegmatitas presentan texturas con tamaños de minerales muy grandes, aunque puede existir gran variedad de texturas dentro de un mismo cuerpo de pegmatita.

Las pegmatitas aparecen con mucha frecuencia relacionadas con rocas graníticas, formando diques o pequeñas drusas denominadas cavidades miarolíticas, y la composición de granitos y pegmatitas suele ser, en general, similar. Los minerales principales que forman las pegmatitas son el cuarzo y los feldespatos (tanto ortosa-K como albita-Na). Otros minerales frecuentes son las micas (sobre todo moscovita) y la turmalina (silicato de Fe, Mg y B). La mayoría de las pegmatitas se interpretan como procedentes de los fundidos residuales, con amplio intervalo de enfriamiento, de la cristalización a profundidad de grandes magmas graníticos. Esto explica por qué, en ocasiones, las pegmatitas se encuentran enriquecidas en determinados elementos traza (Nb, Ta, Sn, Li, P, B, F, etc.): estos elementos alcanzan valores elevados de concentración-saturación y empiezan a cristalizar fases minerales formadas por ellos. Entre los minerales así formados se encuentran la Columbita, la Tantalita y otros como la Casiterita, Espodumena-lepidolita, Apatito o Turmalina, que tienen alto interés como fuente de metales estratégicos (Linnen et al., 2012).

Además, la meteorización de las pegmatitas da lugar a sedimentos que pueden ser ricos en estos minerales.

Yacimientos y explotación

En España, se encuentran pegmatitas asociadas a rocas graníticas paleozoicas (con edades de 320-300 millones de años) que forman parte del Macizo Hercínico (y, en concreto, de su Zona Centroibérica), principalmente en Salamanca y en Extremadura. Las pegmatitas Centroibéricas suelen contener como mineralizaciones frecuentes las de Uranio, Litio, Estaño y Fósforo. Con bastante menor frecuencia aparecen mineralizaciones de Columbita-Tantalita. En nuestro país, estos minerales se encuentran en los granitos de la Sierra de Guadarrama (Madrid) y en depósitos de arenas en diversas localidades de Galicia (Orense y La Coruña).

A nivel mundial, las principales reservas de estos minerales se localizan en África (principalmente en la zona de la RD del Congo y Ruanda), en Sudamérica (Colombia, Venezuela o Brasil), en Canadá y en Australia.

La explotación minera se realiza mediante la excavación de fosas y selección de gravas con maquinaria o medios mecánicos, pudiendo también realizarse de forma artesanal mediante el lavado

de arenas con medios meramente manuales, técnica conocida como *barequeo* en algunas regiones sudamericanas.

La separación del tantalio y del niobio en el coltán no puede realizarse mediante fundición, dada la elevada resistencia al calor de estos minerales. Para realizarla, uno de los métodos empleados es su tratamiento con una mezcla de HF y H₂SO₄ concentrado que disuelve el óxido de tantalio y otros compuestos. Al producir niobio, se reduce el óxido de niobio con aluminio y óxido de hierro hasta obtener Ferro-Niobio. Una vez separados los metales refractarios, se procede a darles la forma más adecuada: lingote, lámina o varillas.

OBJETIVOS, COMPETENCIAS Y NIVEL EDUCATIVO

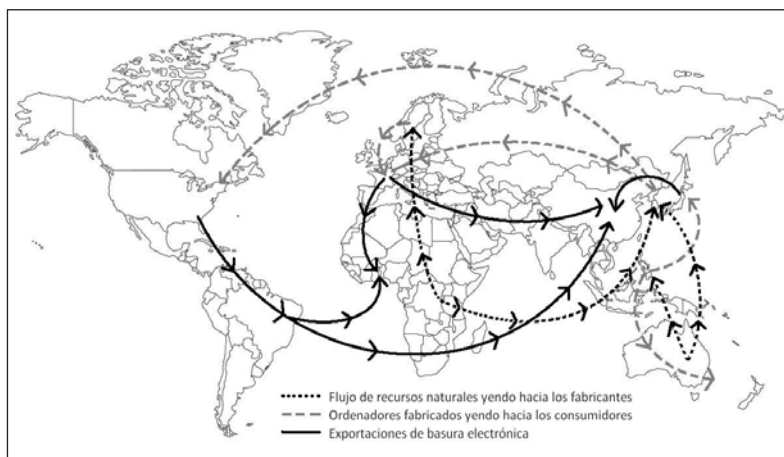
Objetivos

El objetivo básico de esta propuesta es transmitir las estrechas relaciones de dependencia del ser humano con la Naturaleza, en especial, nuestra sujeción a ciertos recursos minerales no renovables; así como las importantes alteraciones producidas en los ecosistemas y sociedades humanas en las áreas de extracción. Además, se busca suscitar un análisis más profundo, integral y global del ciclo de vida de los minerales utilizados, incluyendo el estudio de la gestión de los aparatos electrónicos tras su obsolescencia y su destino final.

Es bien conocido que el desarrollo económico, social y tecnológico, especialmente tras la revolución industrial, requiere para su continuación de una serie de recursos minerales, no renovables y limitados, que sólo pueden ser obtenidos de la Tierra. En un enfoque sistémico, estos recursos pueden ser definidos como flujos de materia o energía que circulan desde los sistemas naturales hacia los subsistemas humanos. Estos flujos son dirigidos y transformados por los sistemas humanos, con objeto de satisfacer sus diferentes necesidades. Por ejemplo, nuestra exigencia de disponer de ciertos aparatos electrónicos requiere de la extracción del coltán, entre otros recursos minerales; es decir, supone su flujo desde la litosfera hacia el subsistema humano.

Otro importante tipo de interacción entre los sistemas naturales y los humanos, directamente relacionado con el anterior, son los efectos que ejercen los primeros sobre los segundos, es decir, los riesgos o peligros naturales (Pascual, 2008). En nuestro caso, la extracción del coltán genera diferentes impactos sobre el suelo, la hidrosfera, los ecosistemas naturales, etc. que a su vez afectan negativamente al bienestar de las sociedades humanas, específicamente a poblaciones cercanas a los yacimientos explotados.

Por último, es también importante considerar ciertos flujos de materia y energía que tienen lugar desde los sistemas humanos hacia los naturales, generalmente en forma de contaminación y residuos. Este es el caso de la contaminación del suelo y del agua generada en los vertederos de residuos ilegales en África y Asia, que pueden tener lugar a



miles de kilómetros de donde se produce la explotación del recurso mineral (Figura 3).

En síntesis, y adoptando un necesario enfoque sistémico, es fácil reconocer como la explotación de los recursos geológicos y minerales se integra en una compleja red de interacciones entre los sistemas naturales y el subsistema humano, en el que tienen lugar flujos bi-direccionales de materia y energía en ambos sentidos, que pueden modificar significativamente las condiciones de ambos.

De hecho, el importante carácter que la actividad humana tiene sobre el medio ambiente ha adquirido tal magnitud que algunos autores consideran que estaríamos viviendo una nueva época geológica, el Antropoceno - del griego *ánthrōpos*, hombre, y *kainós*, común - término acuñado por el premio Nobel de Química Paul Crutzen. Esta denominación haría referencia a la consideración del ser humano como principal agente geológico y modificador de los sistemas naturales a nivel global. En esta misma línea, el ecólogo Peter Vitousek considera que *los seres humanos estamos alterando la Tierra de forma sustancial y creciente. Entre un tercio y la mitad de la superficie terrestre ha sido transformada por la acción humana; la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera se ha incrementado en cerca de un 30% desde el comienzo de la Revolución Industrial; la humanidad ha fijado más nitrógeno atmosférico que el conjunto de todas las fuentes naturales terrestres; más de la mitad de toda el agua dulce accesible está siendo utilizada por la humanidad. Nada ilustra más claramente hasta qué punto los seres humanos dominamos la Tierra que el hecho de que mantener la diversidad de las especies "silvestres" y el funcionamiento de los ecosistemas "naturales" exigirá una creciente implicación de la humanidad* (Vitousek et al., 1997). Es decir, el único responsable de esta crisis ambiental a nivel planetario resulta ser también el único que podría revertir la situación. Y para ello, el ineludible y necesario primer paso que exige este cambio de tendencia es ser consciente de dicha situación.

En este sentido, nuestra propuesta confluye con las corrientes centradas en la educación ambiental y para la sostenibilidad, que tienen por objeto *la construcción de una nueva mentalidad, una nueva ética y una nueva praxis para el logro de un futuro sostenible* (Vilches y Gil, 2011). De hecho, se facilita un desarrollo práctico de algunas de las sugerencias de los expertos del compromiso

Fig. 3. Mapamundi que representa los principales flujos de coltán, productos tecnológicos y residuos electrónicos (Fuente: elaboración propia, adaptado de <http://sitemaker.umich.edu/section002group3/>)

Década por una Educación para la Sostenibilidad (Vilches et al., 2008), documento donde se señala la necesidad de impulsar una educación que promueva análisis globalizadores, que contribuya a una correcta percepción del estado del mundo, que prepare para la acción ciudadana y para la toma de decisiones fundamentadas dirigidas al logro de un desarrollo culturalmente plural y físicamente sostenible; y que genere, en definitiva, actitudes y comportamientos responsables.

Competencias

Atendiendo a la contribución realizada para la consecución de las competencias básicas, se identifican las tres competencias más directamente relacionadas con nuestra actividad:

- competencia científica: asumiendo la identificación ya señalada por algunos autores entre esta competencia y la idea de alfabetización científica (Pedrinaci, 2012) se pretende que el alumno adquiera conocimientos científicos y técnicos que le permitan desenvolverse de manera crítica en varios ámbitos de la vida, desarrollando actitudes de análisis sistemático y científico, a la vez que se avanza hacia unos hábitos de consumo responsables y respetuosos con el medio ambiente.
- competencia digital: procesar y gestionar adecuadamente información sobre cuestiones científicas utilizando las tecnologías de la información y la comunicación, valorando crítica y reflexivamente la información y sus fuentes.
- competencia social y ciudadana: conocer, asumir y ejercer los derechos y deberes en el respeto a los demás, practicando la tolerancia, cooperación y solidaridad entre las personas y los grupos. Saber comunicarse, adoptando juicios y actitudes personales afianzados en los derechos humanos como valores comunes de una sociedad plural, abierta y democrática. Analizar los procesos y valores que rigen el funcionamiento de las sociedades, en especial los relativos a los derechos, deberes y libertades de los ciudadanos.

Tabla II. Niveles y contenidos que se pueden trabajar con la propuesta

NIVEL	ASIGNATURA	CONTENIDOS ESPECÍFICOS
4º E.S.O.	Biología y Geología	La actividad humana y el medio ambiente Los recursos naturales: definición y clasificación. Los residuos y su gestión. Valoración del impacto de la actividad humana en los ecosistemas. Análisis crítico de las intervenciones humanas en el medio. Valoración de la necesidad de cuidar el medio ambiente y adoptar conductas solidarias y respetuosas con él.
1º Bachillerato	Ciencias para el Mundo Contemporáneo	Hacia una gestión sostenible del planeta. El problema del crecimiento ilimitado en un planeta limitado. Agotamiento de recursos. Principios generales de sostenibilidad económica, ecológica y social. La responsabilidad individual y colectiva (compromisos internacionales, disposiciones legales y reglamentarias europeas, españolas, autonómicas y locales) en el uso racional y en la gestión sostenible de los recursos naturales Nuevas necesidades. Nuevos materiales. La humanidad y el uso de los materiales. Localización, producción y consumo de materiales: control de los recursos. El impacto ambiental en la obtención, transformación y desecho de los materiales. El desarrollo científico-tecnológico y la sociedad de consumo: agotamiento de materiales y aparición de nuevas necesidades, desde la medicina a la aeronáutica. Los biocombustibles: uso energético. La respuesta de la ciencia y la tecnología.. Análisis medioambiental y energético del uso de los materiales: reducción, reutilización y reciclaje. Basuras.
2º Bachillerato	Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente	La geosfera. Recursos de la geosfera y sus reservas. Yacimientos minerales. Impactos derivados de la explotación de los recursos.

Además, nuestra propuesta realiza las siguientes aportaciones a la consecución de estas otras competencias básicas:

- competencia en comunicación lingüística: al realizar el informe escrito y la exposición oral en las tareas sugeridas se está trabajando la expresión de conocimientos de un modo coherente mediante un discurso cohesionado, favoreciendo el desarrollo de habilidades comunicativas para trasladar a la audiencia lo expuesto.
- competencia en autonomía e iniciativa personal: analizar posibilidades y limitaciones en base a un criterio propio, elaborar una visión estratégica para transformar las ideas en acciones.

Niveles educativos y contenidos específicos

Nuestra propuesta puede ser aplicada dentro de un abanico de asignaturas del área de Biología y Geología en un instituto de enseñanza secundaria con una pequeña adaptación de su contenido y enfoque didáctico, aunque en principio está diseñada para ser trabajada a lo largo de unas 15 sesiones en la asignatura Ciencias para el Mundo Contemporáneo, de 1º de Bachillerato. Atendiendo al currículo normativo establecido, nuestra actividad abarcaría diferentes contenidos, según se recoge en la Tabla II.

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

La propuesta consta de varias fases (Figura 4) diferenciadas a nivel expositivo, aunque en la práctica algunas de ellas se solapan, y organizadas temporalmente de forma que permitan un acercamiento progresivo del alumnado al problema. Aunque su aplicación en el aula pueda flexibilizarse, se considera importante seguir esta filosofía general de informar primero para concienciar después, desarrollando una fase última de acción social, ya con un marcado carácter autónomo y voluntario del alumnado. Por lo que respecta a la evaluación de la actividad, se propone realizar una evaluación formativa y continua y que, por tanto, se solapa temporalmente con las fases 1 a 4.

Fase previa de preparación de la actividad

Dado que un aspecto metodológico fundamental sobre el que se basa esta propuesta es la investigación autónoma, es importante comenzar esta actividad generando el máximo interés e implicación del alumnado. Con este objeto, proponemos el planteamiento de una serie de preguntas abiertas relacionadas con el tema y contextualizadas en la vida de cualquier ciudadano del primer mundo, pidiendo a los alumnos que traten de resolverlas por sí mismos a lo largo de toda la actividad.

A continuación, se propone realizar una exposición general en la que se expliquen las tareas, los plazos temporales y los criterios utilizados en la evaluación formativa de la actividad. Puesto que hay tareas obligatorias y optativas, es imprescindible aclarar el carácter de cada una, indicando qué parte del trabajo puede realizarse en horario escolar y qué parte se debería acometer fuera de este.

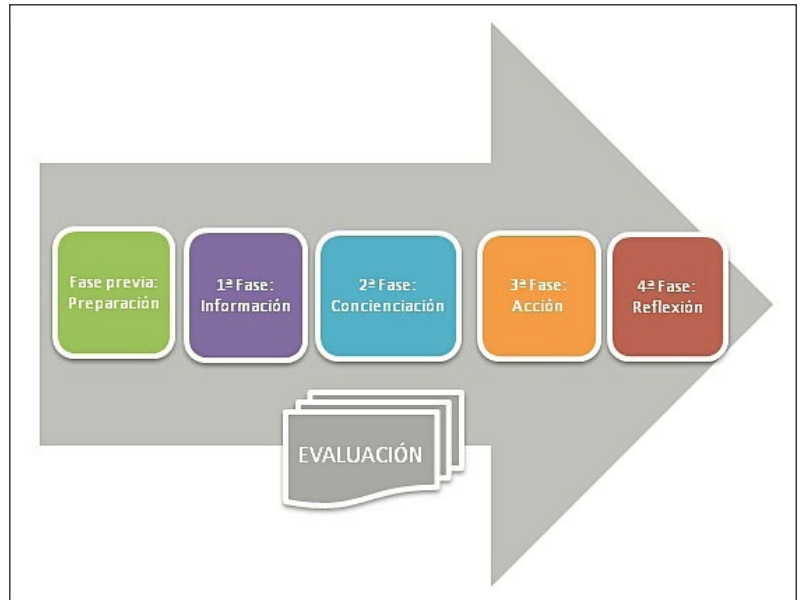
Por tratarse de una actividad grupal, en esta fase hay también que organizar los grupos de trabajo. Los autores aconsejamos que estos grupos tengan un máximo de 4-5 componentes, y sean equilibrados y heterogéneos, tanto en lo que respecta al género de sus integrantes como a las habilidades y destrezas individuales. En caso de resultar necesario, en esta fase habría también que suministrar a los estudiantes unas nociones básicas sobre la utilización de recursos informáticos (uso del explorador, manejo de PowerPoint, etc.).

Fase de información

La fase 1 consta de diferentes actividades diseñadas para que el alumnado adquiera los conocimientos necesarios sobre el tema, acercándose al problema mediante la recopilación, organización y tratamiento de la información obtenida. En este sentido, se debe asegurar que el alumno sea capaz de asimilar y profundizar toda la información que resulte necesaria sobre qué es el coltán desde un punto de vista de recurso geológico, cuáles son los tipos de yacimientos donde aparece esta asociación mineral, y otros aspectos relacionados que afiancen dicho conocimiento geocientífico. Aunque existe numerosa información en la red, en el apartado *Contexto geológico del coltán* se encuentra la más relevante para el nivel de conocimientos que se trabaja en ESO y Bachillerato. Esta información puede aportarse mediante clase magistral pero también mediante los procesos de indagación del alumno contenidos en la webquest.

1.1. Visionado de un documental sobre el tema del coltán, seleccionado entre los propuestos en la lista de materiales.

Tras este visionado, se propone generar un breve debate mediante el cual los alumnos puedan empezar a exteriorizar sus sentimientos y opiniones. Es importante que, ya desde este momento, los estudiantes reflexionen sobre los diferentes productos tecnológicos de los que ellos mismos disponen, es decir, que tomen conciencia de su implicación directa en el problema. Esta primera indignación puede y debe utilizarse como fuente de motivación para el trabajo posterior.



1.2. Charla sobre residuos eléctricos y electrónicos.

Dado que la información sobre este tema en internet no resulta fácilmente accesible, puede ser interesante que el docente dedique parte de una sesión a realizar una exposición específica sobre los denominados *residuos de aparatos eléctricos y electrónicos* (RAEE). Para ello, puede apoyarse en la documentación facilitada en el apartado de Materiales de este artículo (*Residuos eléctricos y electrónicos: otro misterio caso en nuestras manos*) donde se incluyen enlaces a diferentes documentos, informes y documentales. Estos mismos recursos permitirán a *nuestros detectives* profundizar en su investigación, incluso más allá de los requisitos de la propia tarea propuesta en la webquest.

Uno de los objetivos fundamentales de esta sesión pasa por aclarar cuál es la gestión establecida legalmente para estos residuos y cuál es la situación real en muchos casos, así como los efectos perjudiciales de la existencia y tratamiento actual de estos residuos.

1.3. Realización de las actividades de la webquest *¿Qué se esconde tras nuestra tecnología?*, incluyendo dos líneas de trabajo principales a realizar por cada uno de los grupos de trabajo.


- Elaboración de un informe escrito que responda a las diferentes cuestiones planteadas
- Exposición oral del informe realizado fruto de este trabajo colaborativo y debate general sobre el tema

En este apartado, los estudiantes abordan una serie de tareas incluidas en la webquest (Figura 5) desarrollada al efecto, cuyo enlace se incluye en el apartado de Materiales. En la introducción, se busca poner a los alumnos en el papel de un grupo de detectives privados, a quienes se propone un misterioso caso que deben resolver mediante una investigación consistente en la resolución de las actividades de la pestaña Tareas. Para ello se les explica el proceso a seguir y se les facilitan una serie de recursos y pautas para elaborar el informe en la pestaña Proceso, incluyéndose los criterios de una posible auto-

Fig. 4. Fases de la propuesta. La evaluación formativa se realiza en cualquier momento del proceso.

¿Qué se esconde tras nuestra tecnología?

PROCESO



Para terminar con la primera fase de la Operación Coltán, consiguiendo así resolver este sangriento misterio, deberéis dar respuesta a las preguntas de la pestaña Tareas. Todas las respuestas deberán ser recogidas en un informe escrito que deberéis presentar a las autoridades.

Las imágenes, tablas y gráficos deben incluir un pie de foto explicativo, con el mismo tipo de letra que el resto del informe pero a tamaño 10.

Buscando noticias en las webs de los periódicos de tirada nacional (El País, El Mundo, Público,...) podréis acceder a bastante información relevante. Además, para ayudaros a esta misión, podréis consultar los siguientes enlaces con información:

Minidocumental sobre el coltán

Minidocumental guerra del Congo

Artículo coltán en Wikipedia

El coltán y la guerra del Congo

Compañías occidentales implicadas en la extracción ilegal de coltán

Las guerras del coltán

Ranking compañías electrónicas y gestión de residuos

Webquest elaborada por Guillermo con PHPWebquest

introducción
 tareas
 proceso
 evaluación
 conclusiones

Fig. 5: Imagen de la webquest ¿Qué se esconde tras nuestra tecnología?

y heteroevaluación en la propia webquest. Para dar respuesta a las cuestiones planteadas, se permitirá a los alumnos realizar su propia investigación más allá de esta estrategia más o menos definida, fomentando de esta forma su creatividad y su máxima implicación.

El informe solicitado consta de cuatro puntos relacionados con los principales contenidos a trabajar:

1. Cuestiones relativas a las características geológicas del coltán, países productores y aplicaciones tecnológicas
2. Resumen de los principales impactos ambientales y sociales de la extracción del coltán y de los productos tecnológicos tras su vida útil
3. Identificación de los principales agentes implicados (países productores, empresas tecnológicas, consumidores, etc.)
4. Investigación sobre el conflicto armado en el este de la RD del Congo

Fase de concienciación

En esta fase se plantea la realización de una actividad específica de concienciación consistente en un juego de rol. Se presupone que, en este punto, el alumnado ya ha adquirido unas nociones fundamentales sobre los agentes implicados, y sobre los problemas y beneficios de la extracción y utilización de este recurso geológico.

El docente deberá realizar una breve introducción del juego y sus normas básicas, pudiendo para ello emplear las bases del juego *Un mineral con muchos intereses detrás* (Anexo 1).

Fase de acción

En esta fase, cada estudiante debe realizar una acción social destinada a fomentar la toma de conciencia del problema por parte de las personas de su entorno, canalizando de esta forma sus sentimientos y motivaciones sobre lo aprendido. Se pretende que la indignación inicial experimentada por el alumno se transforme en una voluntad de acción que ayude a cambiar su situación cotidiana. Es decir, el estudiante aplica los conocimientos adquiridos para buscar

soluciones a esta situación concreta, efectuando un análisis crítico sobre cuestiones científico-tecnológicas que han de llevarle a tomar decisiones responsables adaptadas a su contexto personal y social.

Cada uno de los grupos de estudiantes diseñará e implementará su propia acción social, de forma que se fomente su propia creatividad y autonomía, asegurando su implicación en la tarea. No obstante, se incluyen algunos ejemplos a modo de propuesta, que el docente podrá introducir en el aula en caso de que pueda resultar necesario.

- 1.- *Creación de un punto de reciclaje de móviles, mp3 y portátiles, pudiendo participar en la campaña Movilízate por la selva o en las más recientemente lanzadas por Amnistía Internacional EurekaMóvil y Recicla-tu móvil.*
- 2.- *Colocación de carteles informativos en el instituto, reparto de flyers informativos, etc.*
- 3.- *Redacción y envío de una carta al director de alguno de los medios de comunicación locales, informando de la situación y de las acciones emprendidas en el centro.*
- 4.- *Redacción y envío de cartas/emails a las principales empresas tecnológicas implicadas, pudiendo realizar una recogida de firmas entre la comunidad educativa y los familiares de los estudiantes.*
- 5.- *Realización de un mural en el hall del instituto con la información recopilada durante la elaboración del informe escrito, montajes fotográficos propios, etc.*
- 6.- *Realización de encuestas por el entorno del centro o entre sus familiares, con cuestiones relativas al uso de los aparatos electrónicos y su reciclaje.*
- 7.- *Realización de una campaña de divulgación de información por internet (por ejemplo, creación y mantenimiento de un grupo en Facebook en el que se vayan añadiendo links con información sobre el tema, o de una cuenta en Twitter donde periódicamente se envíen tuits sobre la materia).*
- 8.- *Colocación de un stand informativo durante la semana cultural y/o las fiestas del centro.*
- 9.- *Redacción de un Código de Buenas Prácticas sobre el consumo, uso y eliminación de productos tecnológicos, que incluya una serie de aspectos fundamentales (por ejemplo, número aconsejado de aparatos tecnológicos por hogar, frecuencia de cambio de estos productos, lugar dónde deben depositarse, etc.). Posteriormente, se podrá fomentar la adhesión del alumnado del centro (y del propio centro) a este código.*

Un aspecto evidente pero fundamental de esta fase es que el docente sepa apoyar en todo lo necesario a sus alumnos, tanto motivando su actuación e implicación, como resolviendo posibles dudas y satisfaciendo aquellas necesidades que pudiesen surgir, como permisos, materiales adicionales, etc.

Fase de reflexión

En esta última fase es conveniente que el docente comience con una breve exposición que resuma todo los aspectos trabajados sobre la importancia de la explotación sostenible de los recursos minerales. Un trabajo de este tipo puede llegar a motivar al alumnado para que siga implicándose en esta causa y/o en otras análogas (no necesariamente dentro del contexto de ciencias de la Tierra), tanto de carácter global (diamantes de sangre, explotación infantil en la fabricación de ropa deportiva de grandes marcas, tráfico de personas, etc.) como más local (minería a cielo abierto, reducción del consumo de combustibles fósiles en el transporte, fraudes en la fabricación de productos alimentarios prefabricados, etc.). Esta repetición de situaciones es la que permitirá obtener la visión global de los problemas que constituye uno de los objetivos de esta propuesta.

EVALUACIÓN

La propuesta que aquí se presenta está formada por una serie de actividades participativas que se desarrollan a lo largo de varias fases. En este contexto, consideramos que el enfoque más adecuado para valorar el progreso de los estudiantes, la utilidad de la propuesta y la forma de llevarse a cabo la misma es el aportado por una evaluación formativa. Se trataría, por tanto, de integrar las actividades de evaluación dentro del proceso educativo sugerido y de realizar unas actividades encaminadas principalmente a favorecer el aprendizaje.

Este planteamiento implica que hay que evaluar en las sucesivas fases del proceso así como las diferentes actividades desarrolladas durante el mismo, y que hay que hacer partícipes a los alumnos tanto de los resultados como de la propia evaluación. También implica una retroalimentación entre las actividades propuestas y la valoración de las mismas. Una propuesta coherente de evaluación formativa de las actividades sugeridas cae totalmente fuera de la intención de este trabajo. No obstante, todas las actividades sugeridas en la Fase de acción son susceptibles de ser valoradas, tanto por el docente como por los estudiantes. Además, se sugieren algunos métodos de evaluación que podrían ser aplicados en un proceso evaluador como el indicado:

- Elaboración de una encuesta, realizada por parte del alumnado antes de comenzar la actividad, tanto en el propio centro educativo como en su entorno familiar. Esta encuesta debería determinar el número y tipo de aparatos electrónicos utilizados, así como la tasa de renovación de los mismos. Los resultados de esta encuesta pueden analizarse antes y al finalizar la actividad y el alumnado debería plantear posibles actuaciones encaminadas a disminuir el número y la tasa de renovación de estos aparatos.
- Realización y corrección cruzada de un pequeño test de estilo geo-quiz, que enfatice en los aspectos geológicos más importantes de la actividad.
- Valoración grupal de las exposiciones del informe escrito realizadas cada grupo. Esta valo-

ración puede realizarse mediante una ficha suministrada a los grupos evaluadores. En ella pueden considerarse distintas rúbricas seleccionadas de entre las propuestas en el apartado de evaluación de la webquest. La utilización de rúbricas debería acompañarse de cuestiones más abiertas: ¿qué han hecho muy bien? ¿en qué tienen que mejorar? ¿habéis detectado algún fallo en la información proporcionada? etc. A la hora de valorar la exposición de los distintos grupos se espera que los alumnos pongan en común sus conclusiones recogidas en estas fichas valorativas

- Tras la finalización de todas las actividades, y buscando asentar el cambio de mentalidad producido, sería interesante plantear compromisos concretos que los estudiantes pueden adoptar de cara a cambiar la situación: aumentar la vida útil de los aparatos electrónicos, disminuir el uso innecesario de estos aparatos, preocuparse por evitar la compra de productos de marcas con un nulo compromiso sobre la verificación del origen de sus materias primas, etc. Se trataría, en suma de constatar la aplicación del Código de Buenas prácticas sugerido en la actividad 9 de la Fase de acción.

Por último, todos los docentes somos conscientes del valor evaluativo que tiene la exposición final de las experiencias, resultados, críticas, aspectos positivos y negativos, emociones... recogidas por el grupo y/o alumno durante la realización de estos trabajos. Una actividad de este tipo ayudaría a conocer el valor real de las actividades propuestas y permitiría implementar mejoras basadas en la experiencia.

CASO PRÁCTICO

La propuesta aquí presentada fue llevada a cabo a lo largo de un mes de clases durante la tercera evaluación del curso 2011/2012 en el IES Ordoño II de la ciudad de León. La actividad se realizó en dos grupos de 1º de Bachillerato, en el marco de la asignatura de Ciencias para el Mundo Contemporáneo; uno de los grupos cursaba el Bachillerato de Ciencias Sociales y el otro correspondía al Bachillerato de Ciencias Naturales.

En el grupo de Ciencias Sociales se completaron las fases de información y acción social, sin llegar a poner en marcha el juego de rol. Como actuación social se envió una carta colectiva al director de un diario local donde se señalaba la necesidad de centrar más el foco informativo en los conflictos olvidados como la guerra del Congo. Con el grupo de Ciencias Naturales se llevo a cabo la fase de información.

Las conclusiones derivadas de esta puesta en marcha de la actividad son parciales y limitadas al centro donde se ha llevado a cabo, pero, en nuestra opinión, pueden ser útiles de cara a orientar sobre los problemas e inconvenientes surgidos al llevar a la práctica esta propuesta didáctica.

En primer lugar hay que resaltar que los estudiantes se mostraron, al principio, bastante incómodos respecto a una actividad que exigía de su parte más implicación y trabajo de lo habitual.

Ante ello, la mayoría del alumnado manifestó algunas quejas: consideraban excesiva la extensión del informe escrito, solicitaron un mayor número de sesiones de trabajo en el aula de informática, expusieron su inexperiencia a la hora de realizar presentaciones orales al resto de la clase, señalaron que tenían ciertos problemas en el manejo de los programas informáticos necesarios, y se quejaron de la dificultad que suponía consultar la información en inglés.

Varios de estos inconvenientes se redujeron negociando ligeramente las condiciones en las que se realizó la actividad; por ejemplo, llegando a un acuerdo sobre el número de páginas en la extensión del informe y horas de trabajo en el aula de informática. En este sentido, es importante destacar el papel del profesor en cuanto al asesoramiento y tutorización del trabajo en el aula de informática: en nuestro caso, se hizo necesario ayudar en la traducción de parte de la información en inglés, resolver cuestiones relativas al editor de textos empleado en la elaboración del informe, y orientar sobre la propia elaboración de este.

Al finalizar la actividad se solicitó a los estudiantes que expresasen anónimamente sus impresiones sobre la misma, siendo el aspecto más valorado uno de los que al principio les ocasionaba más inseguridades: la exposición oral. El motivo de la buena valoración se encuentra en la idea de que aprender a exponer les sería de utilidad en su futura vida académica. También señalaron como positivas las destrezas adquiridas en la búsqueda de información por internet. Asimismo reconocieron sentirse impresionados por la magnitud del problema trabajado, y algunos (pero sólo algunos) manifestaron su voluntad de modificar sus hábitos de consumo en relación a los aparatos electrónicos identificados durante la actividad. Este último resultado, que podría calificarse de tibio para los resultados que se buscan, está sin duda influenciado por el hecho de que tan sólo se desarrollaron las primeras dos fases de la actividad y ambas de forma incompleta.

Por último, considerando la duración completa de esta actividad y dados los típicos requerimientos temporales establecidos en las programaciones didácticas de las diferentes asignaturas, podría considerarse como demasiado extensa. Por ello se incide en su carácter flexible y se propone seleccionar de ella lo que cada profesor considere oportuno en función de su contexto y necesidades.

CONCLUSIONES

El conjunto de actividades propuestas, creadas para trabajar específicamente la gestión de un recurso mineral y la problemática socio-ambiental asociada, facilitan la comprensión científica del entorno del estudiante, acentuando el valor de la Didáctica de las Ciencias de la Tierra como metodología básica e imprescindible para el conocimiento del mundo físico. Partiendo de la enseñanza-aprendizaje de un tema concreto, incluido en los currículos de diferentes asignaturas

relacionadas, se pretende facilitar una comprensión más global de la materia y un acercamiento del estudiante a temas y problemas de marcada actualidad. Se busca, incluso, ir más allá, al subyacer en esta propuesta el objetivo más ambicioso de motivar su propia implicación directa en el problema, fomentando comportamientos más sostenibles en la ciudadanía.

En relación con lo anterior, las actividades propuestas buscan estimular la indagación y exposición de resultados propias de la labor científica, contribuyendo a la adquisición de capacidades ligadas a la futura competencia científica de los jóvenes.

Otro aspecto importante en el que se quiere incidir es la conveniencia del mantenimiento temporal de esta serie de acciones sociales que comprende nuestra propuesta, de forma continuada al menos durante el curso académico. Asimismo, se considera interesante y necesaria la futura implementación de actividades con enfoques análogos al presente, ya sea sobre el tema concreto del coltán o sobre otros en los que resulte conveniente este tratamiento global, sistémico y motivador de la participación del alumnado.

MATERIALES

A.- Documentales sobre el coltán:

- 1 *"Sangre en nuestros móviles": "Blood in the mobile"*. Frank Plasecki Poulsen (2010).
- 2 *"Coltán: comercio sangriento": "Blood coltan"*. Patrick Forestier (2007)
- 3 *"El coltán: causa de la guerra en el Congo"*. Para todos La 2 (2001).

B. Webquest: ¿Qué se esconde tras nuestra tecnología?

http://phpwebquest.org/newphp/webquest/soporte_derecha_w.php?id_actividad=36177&id_pagina=1.

C. Documentación sobre RAEE: Otro misterioso caso en nuestras manos

http://www.slideshare.net/Guillermo_MG/residuos-elctricos-y-electrnicos-15909643

AGRADECIMIENTOS

Este artículo surge de una serie de trabajos desarrollados durante el módulo de Geología de la asignatura Aprendizaje y Enseñanza de las Ciencias, del Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas de la Universidad de León, impartido por uno de los autores (EFM). Queremos agradecer su colaboración en la puesta en práctica de algunas de las actividades aquí descritas al equipo directivo del centro, al alumnado de las clases de 1ºA y 1ºC de Bachillerato y, en especial, a la profesora María Ana Bravo Díaz-Caneja, todos ellos del IES Ordoño II de la ciudad de León.

Luis González, doctor en Geología y profesor asociado de la Universidad de León ha revisado el contenido del apartado *Contexto geológico del coltán*, aportando información sobre el origen de las pegmatitas en relación con mineralizaciones de interés estratégico.

Nuestro agradecimiento muy especial a los dos revisores anónimos cuyas aportaciones permitieron mejorar considerablemente la calidad y coherencia de este trabajo. A uno de ellos le debemos, además, el título final del artículo.

WEBGRAFÍA

Misión de la ONU en la R.D. del Congo: <https://www.un.org/es/peacekeeping/missions/monuc/>

Campaña “Movilízate por la selva” (Fundación Jane Goodall): <http://www.movilizateporlaselva.org>

Computer Industry Impacts on the Environment and Society (University of Michigan): <http://sitemaker.umich.edu/section002group3/home>

Campaña “Raise Hope for Congo”: <http://www.raisehopeforcongo.org>

World Rainforest Movement, impactos ambientales de la minería del coltán: <http://www.wrm.org.uy/bulletin/121/CongoDR.html>

“Guiyu: E-wasteland of the world” / Guiyu: el vertedero de basura electrónica del mundo (documental de la CNC): http://www.cncworld.tv/news/v_show/25325_Guiyu:_E-wasteland_of_the_world.shtml

BIBLIOGRAFÍA

Caamaño, A. (2005). Contextualizar la ciencia. Una necesidad en el nuevo currículum de ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 46, 5-107.

Caamaño, A. (2012). Idea clave 6. La investigación escolar es la actividad que mejor integra el aprendizaje de los diferentes procedimientos científicos. En: Predinaci (Coord.), *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Graó, 127-146.

De Pro, A. (2012). Idea clave 8. Las implicaciones sociales del conocimiento científico y tecnológico forman parte de este y, por lo tanto, de su enseñanza. En: Predinaci (Coord.), *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Graó, 171-196.

Duque, J. y Mateos, M. (2004). *Repercusiones sociales de un mineral estratégico*. En: Documentos del XIII Simposio sobre Enseñanza de la Geología (Eds. P. Alfaro, J.M. Andreu, J.C. Cañaveras, y A. Yébenes). Universidad de Alicante – Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 97-104.

Guo, Y., Huang, C., Zhang, H. y Dong, Q. (2009). Heavy Metal Contamination from Electronic Waste Recycling at Guiyu, Southeastern China. *Journal of Environmental Quality*, 38.4, 1617-1626.

Hayes, K. y Burge, R. (2003). *Coltan Mining in the Democratic Republic of Congo. How tantalum – using industries can commit to the reconstruction of the DRC*. Fauna and Flora International. Cambridge, Gran Bretaña, 62 p.

Linnen, R.L., Lichtervelde, M. van, y Černý, P. 2012. Granitic pegmatites as sources of strategic metals. *Elements*, 8, 275-280.

Martín-Díaz, M., Damborenea, J. y Damborenea, P. (2009). Coltán: La sangre de los móviles (1ª parte). *El rincón de la ciencia*, 51.

Montague, D. (2002). Stolen Goods: Coltan and conflict in the Democratic Republic of Congo. *SAIS Review*, 22., 103-118.

National Safety Council (2006). En: Munn, A., Morse, E. y Ihn, J. (?). *Computer Industry Impacts on the Environment and Society*. University of Michigan. Recuperado el 5 de 12 de 2012, de <http://sitemaker.umich.edu/section-002group3/home>.

Organización de las Naciones Unidas (2001). *Report of the Panel of Experts on the Illegal Exploitation of Natural Resources and Other Forms of Wealth of the Democratic Republic of the Congo*. Recuperado el 10 de 01 de 2012, de <http://www.un.org/News/dh/latest/drcongo.htm>.

Osborne, J. (2006). ¿Qué ciencia necesitan los ciudadanos?. En: Seminario Primavera (2006: La Enseñanza de las Ciencias y la Evaluación en PISA 2006. Madrid. Santillana, 5-21.

Pascual, J. A. (2008). Recursos geológicos, sostenibilidad y medio ambiente. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.3, 200-209.

Pedrinaci, E. (2001). Cómo funciona la Tierra: una perspectiva sistémica. *Alambique*, 27., 47-57.

Pedrinaci, E. (2012). Idea clave 1. El ejercicio de una ciudadanía responsable exige disponer de cierta competencia científica. En: E. Predinaci (Coord.), *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Graó, 15-37.

Santó, R. y Curto, C. (2008). Los minerales son inocentes, las personas no. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.3, 287-294.

United Nations Environment Programme & United Nations University. (2009). *Recycling: From e-waste to resources*. United Nations Environment Programme, 94 p.

Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2009). Una situación de emergencia planetaria a la que debemos y podemos hacer frente. *Revista de Educación*, número extraordinario, 101-122.

Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2011). El Antropoceno como oportunidad para reorientar el comportamiento humano y construir un futuro sostenible. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias (REEC)*, 10 (3), 394-419.

Vilches, A., Gil Pérez, D., Toscano, J. y Macías, O. (2008). *Educación para la sostenibilidad*. OEI. Recuperado el 13 de 01 de 2012, de <http://www.oei.es/decada/accion004.htm>.

Vitousek, P., Mooney, H., Lubchenco, J. y Melillo, J. (1997). Human Domination of Earth's Ecosystems, *Science*, 277, 5325, 494-499.

Yadong, L., Richardson, J., Walker, A. y Yuan, P. (2005). *Journal of Environmental Engineering*, 132, 497-504. ■

Fecha de recepción del original: 11/01/2013

Fecha de aceptación definitiva: 10/03/2013

ANEXO 1: BASES DEL JUEGO DE ROL

Un mineral con muchos intereses detrás

- 1º) Por sorteo, se asigna un papel a cada uno de los grupos formados (4-5 personas). Sería interesante que los grupos fuesen diferentes a los constituidos en otras fases. Una vez repartidos los papeles de cada grupo, los integrantes del mismo deberían asignarse un rol a sí mismos: portavoz, persona encargada de recoger información, persona que hará el trabajo de campo, jefe de los ejecutivos, líder local, etc... de tal manera que dentro de cada grupo haya una división de trabajo y cada integrante conozca sus obligaciones.
Además, este tipo de actividades permite desarrollar la capacidad de argumentación, por lo que el juego puede implementarse con unas sencillas normas sobre cómo argumentar.
- 2º) Se describen los diferentes agentes participantes y algunas de sus motivaciones principales como pequeñas claves para evitar confusiones. Se ofrece la posibilidad de actuar como agentes diferentes, siempre que la propuesta sea coherente con la tarea.

PERSONAJES Y SUS MOTIVACIONES

- **Empresa tecnológica/telecomunicaciones**

Obtención del mineral al mejor precio para poder tener una mayor rentabilidad vendiendo sus productos tecnológicos, además de mantener así a su personal directivo con mejores sueldos. Como añadido opcional: no responsabilización de la gestión de residuos, eludiendo los costes asociados o externalizando dichos costes.

- **Grupo ecologista/ONG Pro-Derechos Humanos**

Defensa de los ecosistemas locales y su fauna, así como de los Derechos de los niños/ciudadanos.

- **Gobierno local**

Defensa de su patrimonio natural y de sus ciudadanos, pero sin perder la oportunidad de mantener su economía (ingresos por permitir extracción y/o depósito de residuos).

- **Población local**

Su principal motivación es cubrir sus necesidades básicas, por lo que pueden mostrarse favorables a permitir las minas y los vertederos, especialmente si trabajan en ellas o en servicios asociados. En este grupo es habitual que aparezca una figura que podríamos denominar líderes revolucionarios, que demandan unas mejores condiciones e intentan convencer al resto del grupo y presionar a sus gobiernos.

- **Ciudadanos de países occidentales**

Su motivación radica en la posibilidad de disponer de ciertos productos a un precio asequible, pero a la vez no queriendo ser responsables de una situación de explotación y contaminación por residuos. A menudo se rechaza la información porque es la manera menos costosa emocionalmente de tomar partido.

- 3º) Desarrollo del juego, basado en la siguiente historia:

En las próximas horas, la multinacional de tecnología MonopolSoft solicitará los permisos de explotación de un yacimiento de coltán localizado en Zongo, un país africano en vías de desarrollo. El objetivo primordial de esta empresa es obtener, a bajo coste, estas materias primas necesarias en la fabricación de aparatos tecnológicos con los que abastecer a sus mercados, situados en países del primer mundo.

La extracción y procesamiento de los minerales Columbita y Tantalita serán realizados en Zongo, pero la fabricación de los aparatos (principalmente un nuevo modelo de smartphone dotado de un revolucionario sistema de realidad aumentada) será realizada en un país del sureste asiático aún por determinar.

Además, y para evitar hacer frente a las tasas de reciclado existentes en los países donde se venderán estos productos, los residuos electrónicos serán recogidos y devueltos a Zongo. Con ese fin, se creará un macrovertedero cuyo contenido estará a disposición de los trabajadores de la empresa, los cuales podrán obtener beneficios de estos residuos.

El proyecto actual sitúa el complejo de extracción y procesamiento del mineral, así como el vertedero, en las proximidades de una selva virgen con gran valor ecológico, especialmente por ser hábitat natural del gorila de montaña. Recientemente, esta selva ha comenzado a ser explotada por pequeñas empresas locales que realizan turismo de naturaleza.

En estos momentos comienza el juego. Los ejecutivos de la multinacional deben intentar convencer al gobierno local de que sea favorable a su propuesta de extracción y procesamiento a bajo coste. Para ello, tendrán que solventar las reticencias existentes por parte del gobierno de Zongo, de la administración local, y de los habitantes, y en muchos casos futuros trabajadores, de la región donde se encuentra el recurso mineral. Al mismo tiempo, una ONG con sede en un país europeo intentará convencer a estos mismos actores de que se opongan a la concesión o, al menos, que intenten exigir a la empresa tecnológica un proyecto más sostenible: con mejores condiciones para sus trabajadores y con menor impacto ambiental en todas las fases de vida de sus productos.

Nota: En ciertos casos, puede resultar recomendable que el docente adquiera el papel de mediador de la actividad (representando, por ejemplo, a las Naciones Unidas). En todos los casos, pero sobre todo si hay falta de participación, el docente puede moderar la actividad e introducir algunas preguntas con objeto de dinamizar la misma o reconducir el tema si amenaza con desviarse.