

La enseñanza de química desde las geociencias: la minería colonial y sugerencias para el trabajo interdisciplinario

Haira Emanuela Gandolfi^a, Silvia Fernanda de Mendonça Figueirôa^{* b}
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Facultad de Educación, Brasil.

Recibido: 07 octubre 2015

Aceptado: 10 noviembre 2015

RESUMEN. La minería y la explotación de recursos minerales ha sido siempre parte de la historia humana y, sobre todo a partir del siglo XVII, comenzó a ser promovida en el Brasil colonial y en toda la Latinoamérica como política económica y de colonización. En este trabajo presentamos una propuesta de enseñanza de la química, a partir de la historia de la ciencia y de los importantes contextos, técnicas y conceptos geocientíficos involucrados en la minería durante los siglos XVIII y XIX en Brasil. Proponemos la lectura de textos originales, escritos por personajes del contexto y ejecución de los procesos de extracción de minerales nacionales, buscando comprender su explotación y producción. Prestamos también especial atención a los conceptos científicos involucrados y también se observa el alto potencial interdisciplinario que este asunto pueda presentar.

PALABRAS CLAVE. Enseñanza de Ciencias, Fuentes Primarias, Historia de la Ciencia, Interdisciplinariedad, Minería Colonial.

The teaching of chemistry through the geosciences: colonial mining and suggestions for interdisciplinary work

ABSTRACT. Mining and exploitation of mineral resources have always been part of human history, especially from the seventeenth century when they were promoted in colonial Brazil and all Latin America as a whole, as an economic and political process of colonization. In this paper, we present a proposal for the teaching of chemistry, from an historical and scientific perspective, employing important contexts, techniques and geoscientific concepts involved in mining during the XVIII and XIX centuries in Brazil. We propose the examination of original texts, written by the people the most involved with national mineral extraction, aiming to comprehend its exploration and production. We also pay special attention to concepts involved and to the high interdisciplinary potential presented by this theme.

KEYWORDS. Colonial Mining, Historical Sources, History of Science, Interdisciplinarity, Science Teaching.

^{*} Correspondencia: **Silvia Fernanda de Mendonça Figueirôa**. Dirección: Rua Bertrand Russell, 801, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas - SP, CEP: 13083-865, Brazil. Correos electrónicos: haira.gandolfi.15@ucl.ac.uk^a, silviamf@unicamp.br^b

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

1.1 La enseñanza de las ciencias naturales, historia y filosofía de la ciencia

La enseñanza de Ciencias Naturales, desde fines de la década de 1970, se convierte en foco de distintos estudios que buscan comprender y reflexionar sobre sus objetivos dentro del mundo contemporáneo. Las sociedades están pasando por muchos cambios, especialmente si se analiza desde la perspectiva de los estudios sobre la modernidad, y la enseñanza de Ciencias Naturales se encuentra inmersa en estas nuevas escuelas, con nuevos alumnos y necesidades del mundo moderno (Lopes y Macedo, 2011). No hay más lugar para la enseñanza tradicional y mecanizada, en la cual se privilegian procesos de memorización, repetición y estandarización de tareas (Campos y Cachapuz, 1997; Gooday, Lynch, Wilson y Barsky, 2008).

Este modelo tradicional de enseñanza de Ciencias Naturales, fuertemente ligado a las nociones de conocimiento académico e instrumental y del eficientismo (Lopes y Macedo, 2011), provoca grandes daños a la deseada formación de ciudadanos críticos y contribuye a la formación de una visión distorsionada de la Ciencia y la Tecnología (Hodson, 1985). Surgen así, como alternativas, propuestas de enseñanza orientadas a la comprensión de los procesos de producción del conocimiento y al funcionamiento de la sociedad tecnológica, que consideran aspectos de la naturaleza de la Ciencia. En este sentido, para proporcionar un abordaje más coherente y menos estereotipado de la naturaleza de la Ciencia y del conocimiento científico, se defiende e introduce en la enseñanza la Historia y la Filosofía de la Ciencia (HFC).

Sugerencias de asociar la HFC con la educación empiezan a surgir en el periodo posterior a la Segunda Guerra como una posibilidad de reflexión sobre las relaciones existentes entre Ciencia, Tecnología y Sociedad, como la bien conocida propuesta de la Universidad de Harvard, puesta en marcha e implementada por James B. Conant en 1950, con los Harvard Case Studies, en los cuales los alumnos pasaron a estudiar casos históricos basados en el análisis de procesos fundamentales del desarrollo de la Ciencia (Collins y Shapin, 1989).

Desde entonces, hubo muchos trabajos y abordajes desarrollados con el fin de reflexionar sobre el tema y proponer el uso de la HFC, en el nivel Superior o Básico de enseñanza, y sus diversos roles en estos contextos ya fueron presentados y sistematizados por varios autores (Collins y Shapin, 1989; Solbes y Traver, 2003; Figueirôa, 2009; Alvarez, Correa, Rodrigues y Marzoa, 2013). Una extensa y oportuna compilación de estas ideas, realizada por Matthews (1992), destaca su papel en la motivación de los alumnos, en la humanización de la disciplina y en la mejor comprensión de conceptos a partir de su desarrollo y perfeccionamiento.

La HFC se puede tornar, de esta forma, una importante herramienta para la enseñanza de Ciencias Naturales al posibilitar el análisis de un determinado conocimiento en su contexto original (dimensión horizontal) y su posterior generalización (dimensión vertical), lo que permite su ubicación histórico-social (Compiani, 2007). Sin embargo, estudiar el contexto histórico de un contenido escolar no significa simplemente transportar al alumno a una realidad distinta (espacial y temporalmente), sino permitirle observar, de manera amplia y crítica, las diversidades y semejanzas existentes entre procesos y sociedades científicas, generalizando y contextualizando -al mismo tiempo y todo el tiempo- la información a la que accede. Esta forma de trabajo permite el desarrollo de habilidades de síntesis, de análisis de cambios, así como el establecimiento y la comprensión de tendencias.

En este trabajo, reflexionamos acerca y proponemos, como un abordaje de HFC, la lectura de originales científicos (las llamadas fuentes históricas primarias), dentro de una perspectiva social de la Ciencia, buscando así el análisis de los contextos histórico, social, político y económico de la obra, así como también de las relaciones producidas en el ámbito del desarrollo y aplicación

de determinados conocimientos. Creemos que el contacto directo de los alumnos con el material originado en determinada época (y no reinterpretaciones de libros didácticos o de Internet) puede facilitar el acercamiento de sus conceptos y razonamientos con la lógica del desarrollo de un conocimiento científico.

Algunas experiencias con lecturas de textos son descritas en la literatura (Galdabini y Rossi, 1993; Zanotello, 2011; Jankvist, 2013). Según Borrego, García, Guede, Menéndez y Pacheco (1996, p. 46), los textos originales "ofrecen la posibilidad de proponer los problemas y cuestiones de manera gradual, siguiendo el desarrollo histórico de los conceptos". Por lo tanto, esos materiales permiten la comprensión de las Ciencias Naturales más allá de los libros didácticos, exhibiéndola en constante transformación y permanentemente conectada a cuestiones sociales, económicas - en definitiva, humanas.

En la perspectiva del trabajo con fuentes históricas primarias aplicadas a la enseñanza de las Ciencias, el proceso de selección de los materiales es de vital importancia y demanda prudencia. Destacamos un posible criterio de elección de estas fuentes: el trabajo con conocimientos locales, producidos en contextos geográficos y sociales cercanos a un grupo particular de alumnos. Desde esta perspectiva, proponemos un abordaje de carácter histórico para el caso brasileño en clases de Educación Secundaria, a través de debates sobre conceptos, temas y contextos, con especial énfasis en aquellos que surgen desde las relaciones entre Química y Geociencias.

Para lograrlo, nos basamos en la moderna Historiografía de las Ciencias Naturales en Latinoamérica, que discuerda de la "tesis central de la casi inexistencia - y del gran retraso - de las actividades científicas en estos países hasta, por lo menos, la creación de los institutos de investigación (...) en la transición para el siglo XX" (Figueirôa, 1998, p. 107). También según Figueirôa, esta historiografía empleada en el análisis de la Historia de la Ciencia "padeció de los límites debido a su matriz positivista y por el 'mimetismo historiográfico', y condujo hacia una visión estrecha del pasado" (p. 108). En la misma línea, aclara Saldaña (1993) que, a partir de la década de 1980, la historiografía pasó a enfocarse en el estudio de la problemática de la Ciencia realizada en países considerados periféricos, fuera de los límites eurocéntricos que hasta entonces dominaban la historiografía de las Ciencias Naturales. Pensamos que esta visión sobre la Ciencia latinoamericana nos permite redescubrir nuestros países y repensar la imagen de ciencia universal que se tiene y que es transmitida en las clases de Ciencias Naturales.

De esta manera, el presente trabajo tiene como objetivo presentar y discutir algunas fuentes históricas primarias relacionadas con las actividades de explotación mineral realizadas durante el período colonial brasileño, a partir del punto de vista de la Química y de sus relaciones con la Geociencias y con otras áreas del conocimiento. Destacamos aún que las discusiones aquí desarrolladas son resultados de nuestro trabajo de pesquisa histórica y documental acerca de este contexto de explotación y de nuestra constante reflexión acerca de las potencialidades que la Historia y la Filosofía de las Ciencias presentan para la educación científica.

Señalamos también nuestra elección, para la enseñanza de Química, del conocimiento geocientífico involucrado en el contexto de la exploración minera, pues creemos que las Ciencias de la Tierra constituyen un terreno fértil para los enfoques integrados y contextualizados acerca de la dinámica del mundo natural. En este contexto, la importancia de la historia natural se ubica en la posibilidad de abordar el conocimiento químico en una perspectiva temporal amplia, involucrando el pasado (origen y evolución de la Tierra), presente (natural ocupación y explotación) y futuro (problemas e impactos) de nuestro medio ambiente (Toledo, 2005; Figueirôa, 2009).

1.2 Minería: una breve historia

La minería comprende un conjunto de técnicas de explotación de sustancias minerales a partir de depósitos encontrados en la corteza terrestre. Se trata, por lo tanto, de un área fuertemente ligada a los conocimientos geológicos desarrollados por el hombre a lo largo de su historia. Aunque las marcas más impactantes de la minería en las sociedades occidentales ocurran a partir del siglo XVI, la actuación del hombre en la explotación mineral data de períodos prehistóricos. Vestigios de minas en el continente africano datan entre 6.000 y 4.000 A.C., mientras que registros de la explotación y manufactura europea del cobre se relacionan con el periodo de 7.000 a 4.000 A.C. Durante la Antigüedad, la metalurgia se tornó la base para grandes imperios, como los imperios fenicio, griego y chino, y durante la Edad Media, importantes actividades de minería se desarrollaron con bronce, plomo y plata (Adams, 1938).

La transición de la Edad Media a la Edad Moderna marcó una nueva dirección para la minería, la cual se tornó una actividad económica de interés de Estado. La Mineralogía y la minería son introducidas como saberes de la modernidad, en una tendencia de desacralización de la imagen medieval de mundo y, a partir del siglo XV, se inicia un movimiento sistemático de cuantificación y análisis de la naturaleza, con especial atención en las prácticas de campo (Adams, 1938). Fueron realizadas grandes inversiones en nuevas técnicas y conocimientos sobre terrenos, rocas, formación mineral, etc., constituyéndose lo que hoy conocemos como Geología. Se destacan trabajos producidos en distintas regiones mineras, principalmente en Sajonia (Alemania). En ese periodo de intensa consolidación de las Ciencias de la Tierra, sobresale la explotación del carbón (fuerza motriz de la Revolución Industrial en el siglo XVIII), del salitre (para producción de pólvora), del oro y de la plata (para monedas) y de los diamantes.

En dicho contexto, la minería pasa a ser estimulada en Brasil, colonia portuguesa en aquel entonces. Esencialmente entre los siglos XVII y XVIII, la búsqueda por materiales minerales en tierras brasileñas adquirió gran desarrollo, principalmente después de los primeros descubrimientos minerales en tierras latinoamericanas. En un período europeo de Ilustración y Revolución Industrial, Portugal se vio obligado a realizar búsquedas de minerales y acompañar el proceso de modernización social y económica de la época (Figueirôa, 1997).

En 1711, André João Antonil destacó algunas de las muchas regiones del país donde era posible encontrar producciones minerales: Interior de San Paulo, Ceará, Curitiba, Porto Seguro, Santa Cruz, Río de Janeiro, Caeté, etc. (Antonil, 1976). Entre los distintos minerales encontrados (especialmente hierro, oro y plata), el oro fue sin duda el que movilizó los mayores esfuerzos e inversiones de Portugal, ya a partir de los primeros descubrimientos en Minas Gerais, entre 1693 y 1695. En el inicio del siglo XVIII, se encontraron otros depósitos en Bahía y Mato Grosso y en Goiás, iniciando un siglo de intensa explotación de oro. Sin embargo, alrededor de 1785, las minas de oro de Brasil entraron en decadencia y, en consecuencia, varios pensadores brasileños desarrollaron trabajos en esta área con el fin de proponer alternativas y soluciones (Figueirôa, 1997).

Con la caída de la productividad, que había llevado a un aparente fin del gran ciclo de la minería en Brasil, la Corona portuguesa empezó a invertir, a partir de la sugerencia de Domenico Vandelli (importante químico italiano al servicio de Portugal), en la formación de brasileños en las más prestigiosas escuelas de minería y metalurgia de Europa, situadas principalmente en Francia, Sajonia y Suecia. De ese modo, varios estudiosos pasaron a realizar viajes, pasantías y cursos en esas escuelas con el objetivo de conocer y llevar al Brasil nuevos conocimientos, técnicas e ideas que pudieran reactivar la explotación mineral (Figueirôa, 1997). Nuestro trabajo se ubica en ese contexto de decadencia e intento de reactivación de la explotación mineral brasileña.

1.3 Las geociencias en las clases de química: los minerales

Los minerales pueden ser definidos como sólidos naturales, con arreglo atómico altamente ordenado y una composición química homogénea y definida, aunque no necesariamente fija (Klein y Dutrow, 2012). A menudo se forman por procesos inorgánicos y, por lo tanto, se consideran materiales inorgánicos (excepto algunos pocos casos orgánicos). Actualmente, se conocen más de cuatro mil minerales, aunque menos de 200 sean realmente comunes. En esta definición de mineral, encontramos importantes conceptos químicos, tales como: estados físicos de la materia (sólidos), enlaces químicos, redes cristalinas e interacciones intermoleculares (arreglo atómico altamente ordenado) y compuestos y reacciones inorgánicos (procesos inorgánicos).

En cuanto a los enlaces químicos presentes en los minerales, es importante destacar que son, en su mayoría, enlaces de tipo iónico, formados esencialmente entre átomos de oxígeno (óxidos) o halógenos (haluros) con metales alcalinos, alcalinotérreos y de transición (Klein y Dutrow, 2012). En este último caso, los átomos metálicos, que generalmente reciben mayor interés de la minería, están unidos a otros elementos (y son llamados metales mineralizados) y, así, necesitan pasar por procesos de extracción, durante el cual son separados y obtenidos en su forma de sustancia simple. Son ejemplos de metales mineralizados de gran interés económico (las llamadas menas): hematites (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), bauxita (Al_2O_3), pirita (FeS_2), etc.

La Minería tiene como objetivo principal la retirada de estos materiales de la naturaleza y, para este fin, utiliza técnicas físicas para la apertura de la llamada mina, es decir, los lugares de excavación de suelos y rocas. El modo de labrar la tierra rica en minerales dependerá de la distribución de estos metales en la corteza terrestre. Después de la remoción de estos minerales, puede ser necesaria una nueva etapa en su procesamiento que de importancia a las principales técnicas de extracción del elemento metálico de la estructura del mineral. Cada tipo de metal necesitará de una técnica específica para ser obtenido, pero comúnmente se emplean etapas que implican calentamiento, reacciones químicas en alta temperatura (en el caso de metales oxigenados y sulfurados, por ejemplo, se pueden emplear reacciones con carbón/carbón) e incluso procesos electrolíticos de reducción de estos metales (Hartmann y Mutmanský, 2002).

2. DESARROLLO

2.1 Las geociencias en las clases de química - sugerencias desde la historia de la minería

Presentamos sugerencias de estudios de conocimientos científicos en el ámbito de la minería y de las Geociencias en clases de Química, a partir de lectura, interpretación y reflexión sobre algunos textos históricos originales. Creemos que es importante presentar a los profesores propuestas de utilización de la HFC en las aulas, más allá de seguir insistiendo en su relevancia para la enseñanza. Siguen, como ejemplos, algunos fragmentos seleccionados de distintos trabajos históricos publicados en la época colonial brasileña, agrupados en este trabajo en tres grupos según temas curriculares importantes e interesantes desde el nuestro punto de vista: enlaces químicos y propiedades de los minerales, materiales inorgánicos y separación de mezclas.

Dentro de la temática de los enlaces químicos y de las propiedades de los minerales, presentamos el fragmento 1, extraído de la obra *Diálogos Geográficos Chronológicos, Políticos e Naturais*, de Joseph Barbosa de Sá (?-1775), en la cual se comparan las propiedades de los metales. Sus *Diálogos*, con más de 400 páginas en la publicación original, constituyen una verdadera narrativa sobre los bienes naturales de la región hoy denominada Centro-Oeste (Santos y Campos, 2013). También sobre las propiedades y enlaces químicos de los minerales, está el fragmento 2, el cual trata de diamantes y sus formas externas (hábito), extraído de una obra del naturalista José Vieira Couto. Vieira Couto (1752-1827), de Arraial do Tijuco (Minas Gerais, Brasil), estudió en

la Universidad de Coimbra (Portugal) y realizó importantes investigaciones mineralógicas en territorio brasileño, principalmente entre los años 1789 y 1805 (Silva, 1999).

Fragmentos 1 y 2

“De los minerales el hierro es la principal liga, alma de toda la producción, especie primera de la masa elemental, superior a todas las otras producciones; como metal, es el más precioso de una vida: fue el primero encontrado por los hombres, labraron, y de él se utilizaron, como indica la escritura santa: ‘sella quoque genuit Tubal Caim, qui fuit maleator, et faber in cuncta o pera aeris, et ferri’. Dice que trabajó en cobre y hierro; y no consta que antes se hubiera usado otro metal. De todos los metales es el más duro e impenetrable, tal que no permite otro labrado; y cuanto más trabajado, más duro se hace. Como es el principio de todos los demás, con todos se une; tiene unión con el azufre; y no es posible producir uno sin el otro, y por esto, cuanto más trabajado al fuego que le saque los elementos sulfurosos, más puro y sólido se hace. Es la sal su mayor enemiga, y la que más lo consume. Y el agua es lo que más lo conserva. El acero, que dicen algunos ser de especie distinta, no es sino el mismo hierro perfeccionado hasta llegar a ese grano, consumidas por el fuego y expulsadas por la violencia del martillo todas las mezclas que en sí tiene; es en su peso igual al cobre con el cual hace tal unión que jamás se separan, salvo si son consumidos uno y otro; y por esta igualdad que tienen, son los cuerpos más sonoros tocados por vibración. Como se muestra, tiene virtud magnética, una operación que con él se hace la piedra cebar, porque es virtud de él, no de la piedra; esto se demuestra y prueba por la atracción del hierro con otro tocado de la piedra, lo que no hace esta con otra tocada en el hierro” (Sá, 2013, pp. 289-290, traducción libre).

“En su cristalización [de los diamantes] se observan muchas variedades: las piedras pequeñas suelen ser las más regulares; se conocen bien las que son en formato de dos pirámides, unidas por sus bases, llamadas diamantes de trompo por nuestros mineros; las que son triangulares, llamadas diamantes en forma de sombrero; las que son teseladas, o redondeadas; y todas ellas son bien conformadas y tienen sus fases y ángulos muy vivos y distintos. Pero en cuanto a las piedras más grandes, estas no tienen ninguna forma constante y regular de cristalización: unas son redondas y lisas, otras chatas, otras alargadas, y siempre por alguna punta o extremidad que muestra lados abruptos, como si les faltasen continuación o algún pedazo” (Couto, 1905, pp. 138-139, traducción libre).

En el fragmento 1, podemos notar menciones a varias e importantes propiedades de los materiales, como dureza, magnetismo, interacción con agua, formación de ligas metálicas, entre otras. Proponemos aquí la interesante asociación que se puede realizar entre estas propiedades y los conceptos de enlaces químicos, fuerzas de atracción y repulsión, entre otros relacionados con la estructura de la materia. Se destaca también el hecho de que el autor emplea estas mismas características como forma de comparación e identificación de estos minerales, incluso buscando justificar sus principales utilidades y aplicaciones para el hombre. Este raciocinio, ampliamente utilizado por él en sus textos, es de extrema importancia para el trabajo de observación de la naturaleza, y representa una de las bases de la Mineralogía y del estudio de campo. En el fragmento 2, hay una valiosa discusión sobre la estructura de los diamantes, su proceso de cristalización y su relación con la geometría espacial (pirámides, triangulares, etc.) fértil no solo para el trabajo en la disciplina de Química (al relacionar estas estructuras con propiedades del diamante, geometría molecular e interacciones intermoleculares) sino también en Artes y Matemática.

En el tema de los materiales inorgánicos, presentamos los fragmentos 3 y 4, que tratan de conceptos como nomenclatura inorgánica y reacciones químicas. El fragmento 3 fue encontrado en el ya mencionado trabajo de Joseph Barbosa de Sá, mientras que el fragmento 4 fue tomado de la publicación de José Vieira Couto, de 1848.

Fragmentos 3 y 4

“Los minerales no son para aquellas personas que los buscan ansiosamente, sino para el que venturosamente los encuentra, y esto es lo que dicen los mineros; cuántos son los que los buscan abriendo tierras, revolviendo los montes, cambiando el curso de las aguas, fulminando fuego y superando los ares hechos anatómicos de los elementos, con las vidas siempre en riesgo, envueltos entre arenas, cuidados y trabajo sostenido sin más consuelo, que los favores de una mezquina esperanza, que tarde, mal, y nunca satisface sus falsas promesas. Libre de todos estos trabajos y fatigas, descubrimientos, que ofrezco a mis naturales para que los logren como suyos, heredadas de nuestras naturalidades. Para quien labra, mineral tomada genéricamente, suena como si fuera lo mismo que metal; aquella, palabra latina, y esta, griega, derivada del verbo metal, que significa cosa buscada; y es todo aquel simple que se encuentra en minas que es distinto de la tierra, a saber, hierro, oro, plata, cobre, estaño, plomo, azogue, azufre, sal, salitre, yeso, azabache, alambre, capavosa, pedralipe (sulfato de cobre), pumita, antimonio, vitriolo. Estos son todos frutos de la tierra, disolubles como todo lo demás que produce la naturaleza” (Sá, 2013, p. 286, traducción libre).

“El hierro, este metal tan necesario a todas las artes, a todos los oficios, que rasgando la tierra obliga esta a adornarse de un verde más ameno y alegre, y a abrirse en dones y riquezas; que, pasando nuestras fronteras, muestra a nuestros enemigos un muro inconquistable, la muerte y el asombro; este metal, más precioso al hombre que el oro y la plata, es el que la Providencia a nosotros regaló con enorme abundancia. (...) Por esto, en dichas fábricas de hierro y en dichas fundiciones, todo debe ser en un punto bien grande. Los hornos tienen veinte pies en cuadro y veinticinco de alto; los fuelles de madera son de quince pies de largo; no hay hombres que los puedan mover, y un torrente de agua los agita por medio de una rueda: el horno, semejante a un pequeño Etna, vomita de tiempo en tiempo una lava de hierro de quince pies de largo, y sobre dos mil arrates de peso. La lava es conducida por máquina a una forja, y después a un gran yunque, donde un martillo de mil doscientos arrates de masa, y también movido por otra máquina de agua, la golpea, y termina de formarla en barras” (Couto, 1848, pp. 314-315, traducción libre).

El fragmento 3 muestra ser un texto introductorio de gran valor para el estudio de los minerales al traer discusiones sobre el origen de esta palabra (minerales), así como los principales metales que de ellos se pueden extraer. Colabora también en la introducción de la nomenclatura de varios compuestos inorgánicos y metálicos, como salitre, azogue, vitriolo, entre otros, como eran conocidos en aquel entonces. El fragmento 4 puede ser empleado para enriquecer el estudio del proceso de extracción de hierro a partir de sus minerales de origen (como la hematites), lo que implica técnicas de calentamiento, fusión mineral, reacciones de oxidación-reducción, entre otras, todavía ampliamente empleadas.

A continuación, presentamos otro fragmento que se relaciona con la separación, extracción y purificación de estos materiales de la naturaleza. El fragmento 5 fue encontrado en una obra de Manuel Ferreira da Câmara, publicada en 1789. Câmara (1764-1835), importante representante de la Ilustración Brasileña, ha estudiado en Coimbra y fue discípulo de Vandelli, con quien aprendió conceptos y prácticas de la Mineralogía (Figueirôa, Silva y Pataca, 2004).

Fragmento 5

“Capítulo 3ro.: Forma de evitar una gran pérdida por el lavaje de las Minas. Dos métodos, cuya elección solo la riqueza y la naturaleza de la matriz deben decidir, son el objeto principal de este capítulo: El primero es el método de la amalgamación, anteriormente usado entre nosotros, pero con muy poca arte. El segundo es el de la fusión, y ocurrirá cuando la mina esté mineralizada y no posea el oro llamado nativo. Todos los mineros hasta ahora han utilizado mercurio para separar el oro de los cuerpos y sustancias que, por su gravedad, han precipitado con aquel durante el lavaje.

Mi proyecto, sin embargo, es nunca lavar la mina, porque cuando esto se hace, la piedra, por su divisibilidad del oro, es necesaria. Todos saben que el mercurio tiene la propiedad de unirse a los metales -incluso a los más perfectos- y formar con ellos un cuerpo único que solo la evaporación o el fuego puede separarlos con facilidad. 2do. Que cuando haya alguna divisibilidad, y contacto entre las partes, que la afinidad o el cambio ocurre por leyes constantes e inmutables. 3er. Que el oro, cuando es combinado con mercurio, tornándose al mismo tiempo despojado de su ganga, queda separado de todos los cuerpos extranjeros que lo suelen acompañar y que, por su gravedad o peso, se precipitan durante el lavaje - 4to. y último, que el mercurio combinado con el oro puede ser fácilmente separado por destilación, sin pérdida del mercurio y del oro. Otro método para separar el oro es la fusión, y será utilizado cuando las minas no son de oro nativo sino mineralizado, algo que no falta en nuestras minas, pero de lo cual aun no se aprovechó un solo real -porque nuestros mineros no lo reconocen por oro, sino aquel que se presenta a sus ojos con un aspecto brillante y metálico” (Câmara, 1958, pp. 512-513, traducción libre).

En este texto, tenemos datos relativos a la extracción y la purificación de las minas de oro en Brasil (separación o fraccionamiento de mezclas). De manera general, describe importantes etapas de este proceso, como la tamización, la levigación y la influencia de la densidad del oro, la amalgamación con mercurio (de gran interés ambiental, por tratarse de un metal pesado), etc.

Después de las lecturas iniciales de estos fragmentos, sugerimos que el profesor introduzca algunos debates y realice también algunas aclaraciones, con el objetivo de facilitar el proceso de comprensión y asimilación de los textos presentados. Consideramos también de gran importancia la realización de debates que involucren a los propios alumnos para que estos busquen una elaboración de sus propias explicaciones para la formación y extracción, así como para las propiedades, aplicaciones y trabajo con la explotación de los materiales minerales.

El profesor, a partir del análisis de las respuestas de ellos, podrá entonces observar las ideas desarrolladas por los alumnos y orientarlos en la comprensión de esos conocimientos y técnicas. Creemos que algunos de los conceptos formales implicados en la explicación de los fenómenos aquí descritos, como enlaces químicos, fuerzas intermoleculares y geometría, representan un cierto grado de abstracción y pueden generar distintas interpretaciones en clase. A partir de este punto, se puede realizar un debate que incluya las respuestas elaboradas por los estudiantes, imágenes y diagramas ilustrativos como una forma de concluir el trabajo y de devolución a los alumnos.

2.2 La minería y su potencial interdisciplinario

Destacamos ahora un importante aspecto de las distintas posibilidades que el uso de la HFC representa en clase, es decir, su carácter potencialmente interdisciplinario. La visión de que la Ciencia es una creación humana y social, fruto de relaciones dentro de sus propias áreas internas de saber y también de interacciones externas (económicas, políticas, éticas, morales, mediáticas, ambientales, comerciales) generó nuevas cuestiones para la enseñanza. Bajo este punto de vista, Jordan (1989) señala que la interdisciplinariedad latente de la Ciencia se demuestra, en la Historia de la Ciencia, como fundamental para numerosos e importantes avances, principalmente en el siglo XX, contrariamente a lo que dicen muchos defensores de la autonomía disciplinaria.

Creemos que la formación de estudiantes de manera interdisciplinaria se presenta como una alternativa y ocupa una posición más autónoma y crítica, preocupada con problemas de la realidad - estos casi siempre interdisciplinarios - lo que permite a ellos una visión global de las relaciones científicas y sociales (Gebara et al., 2013). Como ya fue señalado hace ya algunas décadas (Fazenda, 1993), este enfoque permite también, a los distintos actores de la escuela, desmitificar el trabajo científico, que pasa a tener dimensiones éticas, sociales, históricas y políticas, y proporciona

trabajos en grupos, desarrollo de actividades prácticas, mejora de relaciones dentro del aula y ampliación crítica del conocimiento.

Considerando esta comprensión histórica y filosófica de la naturaleza y del desarrollo del conocimiento científico, con sus relaciones integradas a distintos aspectos, el trabajo interdisciplinario en clase adquiere un importante aliado en su planificación: la Historia y la Filosofía de la Ciencia. En este sentido, la explotación mineral, tanto en Brasil como en todo el mundo, puede ser fácilmente analizada a partir de este punto de vista interdisciplinario, dentro de una perspectiva de la HFC. Durante la búsqueda de fragmentos relacionados con el área de Química en obras originales citadas en el presente trabajo, se encontraron varias relaciones que hoy serían consideradas interdisciplinarias. A continuación, sugerimos abordajes interdisciplinarios de posible realización por distintos profesores y en distintas disciplinas, a partir de la minería.

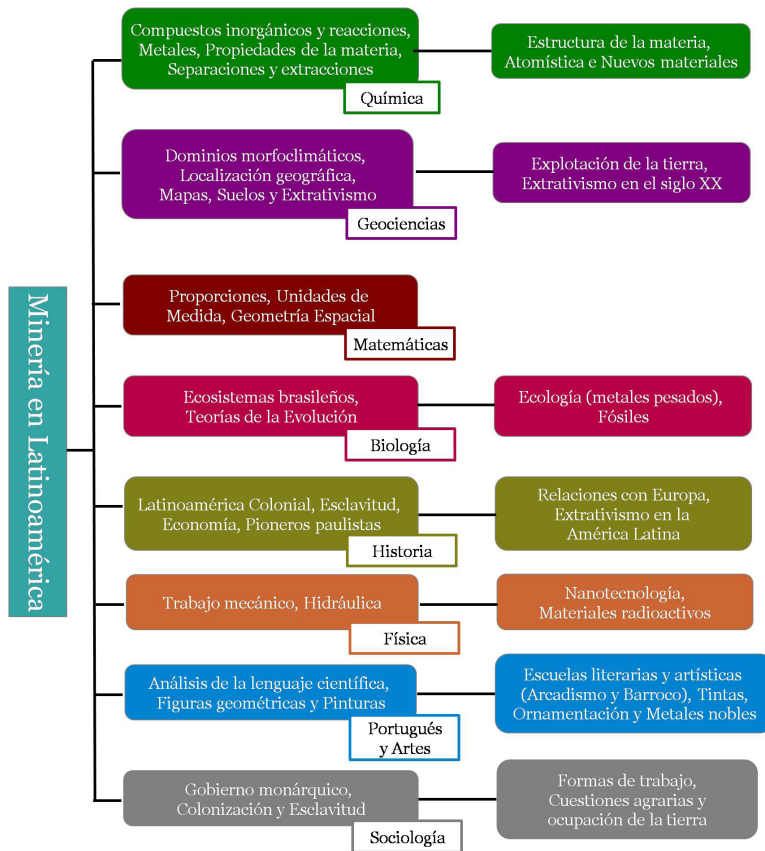


Figura 1. Diagrama de flujo de actividades propuestas con la minería como tema interdisciplinario
Fuente: elaboración propia

En este diagrama de flujo, es posible observar un pequeño resumen de los temas que pueden ser trabajados en distintas disciplinas, dentro de la temática de la explotación mineral en diferentes contextos. La primera columna de la imagen relaciona aquellos conceptos que pueden ser abordados directamente a partir de los textos originales de la época; la segunda columna trae sugerencias de expansión a otros temas para que sean trabajados a través de otras fuentes de material, incluyéndose debates sobre cuestiones actuales. Seleccionamos, de esta forma, algunos otros fragmentos en las obras originales analizadas, los cuales creemos que son ilustrativos de

este potencial interdisciplinario. Destacamos, sin embargo, que algunos fragmentos ya citados pueden ser igualmente empleados en disciplinas además de la Química, ya que presentan conceptos importantes a otras áreas de conocimiento.

Desde el punto de vista de las Geociencias, el fragmento 6 presenta discusiones sobre relieve, dominios morfoclimáticos e hidrografía de varias regiones de Brasil. El fragmento fue extraído de la obra de João da Silva Feijó (1760-1824), naturalista de Río de Janeiro, discípulo de Vandelli en Portugal (Silva, 2004). A continuación, se observan también datos sobre relieve y ubicación geográfica (incluyéndose los puntos cardinales) de la Capitanía de Ceará, además de las discusiones sobre hidrografía de la región, su clima y la influencia de estos factores en la explotación mineral (humedad, ciclo del agua, formación de herrumbre).

Fragmento 6

“Limita, al NO, con una extensa costa de mar de 146 leguas, que sigue en la dirección absoluta de ESE a ONO, desde el delta del río Monseró hasta el del Igaracu, uno de los brazos de la Parnaíba; al SO, una extensa cordillera, llamada Sierra Grande, que nace junto a la costa del N, donde se dice Timonha, once leguas al E del Igaracu, se extiende en una curva en dirección SE, separándola de la Capitanía de Piauí hasta los Cariris nuevos, en la Sierra de Araripe, con la extensión tal vez de ciento cincuenta y cinco leguas; y al SE, en fin, las costaneras de esta Sierra de Araripe, conocidas por los nombres de Sierras de Luiz Gomes de S. José, de Camará y de S. Sebastião, y un amplio y denso bosque de poca altura -llamado Catinga de Gois- que de la Sierra de Sebastião sigue hasta el río Monseró; dos leguas más arriba de su delta, cuya línea de límite, que separa esta Capitanía de la de Río Grande, tendrá ciento diez leguas de extensión, y en la dirección de ENE a OSO. (...) La gran humedad, de que la atmósfera está llena, procede no menos del calor, que provoca una constante evaporación, lo que deberá provocar cambios importantes en la economía orgánica, de la cual proceden ciertos males considerables, particularmente en las plantas, cuya vegetación, en aquel clima, es débil y frágil, que por esto, cuando las lluvias no son abundantes quedan como quemadas, y como ocurre en las superficies de los metales, especialmente el hierro y el acero, que constantemente se oxidan a pesar de todas las precauciones” (Feijó, 1814, pp. 47-52, traducción libre).

Para el uso en las disciplinas de Historia y Sociología, destacamos fragmentos relacionados a la monarquía y la recaudación de impuestos de la colonia, con la esclavitud y la cuestión indígena en Brasil. Por ejemplo, el fragmento 7 fue encontrado en la obra de José Manuel de Sequeira (?), naturalista de Villa de Cuiabá (capitanía de Mato Grosso) y sugiere un tratamiento más riguroso en cuanto al trabajo de los esclavos.

Fragmento 7

“Hay gran descuido en todos los métodos de fabricación en Brasil, al hacer casas los esclavos para tenerlos con algún trabajo y ningún costo; pues los que vienen de África, aparte de que son incultos y que necesitan años para que nos entiendan y sean entendidos, son de muy alto precio en la orilla del mar; razón por la cual los comerciantes introducen pocos, y ante la falta de fuerza humana, es obvio que no puede el minero realizar gran servicio donde se espera gran inversión, y los esclavos criollos tienen la ventaja de percibir mejor qué se pretende y, cuándo no son criados con mucha libertad, se prestan mejor al trabajo y son menos propicios a desertión y fuga que los negros africanos. Y aquí vemos que la tercera causa de la decadencia de las Minas es la falta de esclavos” (Sequeira, 1949, p.100, traducción libre).

Para la disciplina Física, destacamos el fragmento 8 a continuación, encontrado también en la memoria de José Manuel Sequeira, el cual se relaciona con los procesos de extracción de minerales del suelo. Este fragmento, además de ofrecer una descripción de algunas de estas técnicas de excavación y extracción, añade figuras a su exposición que pueden complementar el trabajo en clase.

Fragmento 8

“Las Minas de oro, desde su origen, no conocen otros instrumentos para la excavación y ejercicio de minería sino palanca, almocafre, batea, carumbé (tipo de recipiente utilizado para el lavaje de minerales) y almádena (ver en el dibujo las figuras 2, 3, 4, 5 y 6). Y con esta herramienta en el lugar de confianza rompen la tierra a fuerza de brazos, al que se llama desmontar (ver en el dibujo la figura 7), y cuanto más se profundiza, más y más grava arcillosa se encuentra sobre el esquisto, vulgarmente conocido como pizarra, se extrae el oro por lavaje cuando hay (ver la 1ra. figura del 2do. Dibujo) o se conoce la ruina cuando no lo encuentra. Al trabajo de desmontar se suma el de terminar la cata, que es el foso abierto perpendicularmente, cuya alcantarilla utilizan los esclavos sobre receptáculos a los que llaman piletas (ver el dibujo 1ro. de la figura 8a.). Este es el método de trabajar en los fondones, a los que llaman tableros, y porciones de los cerros” (Sequeira, 1949, p. 103, traducción libre).

Varios fragmentos tratan también de temas como formación de la Tierra y fosilización, importantes para comprender la formación mineral y de las bases para la Evolución biológica, que se encontraban entonces en un momento de intenso debate, especialmente en Europa. Destacamos el fragmento 9 como ejemplo de la presencia de este debate en obras de investigadores brasileños, representados aquí por João da Silva Feijó, lo que confirma su actualización sobre estos temas.

Fragmento 9

“Se nota en la Sierra de los Cariris, donde se dice Milagres, ochenta leguas, más allá, lejos del mar, y en aquella elevación, las más raras y curiosas petrificaciones de peces, y de muchos géneros de anfibios, y algunos de grandeza de cuatro palmas, incluidos como en una especie de etites, de sustancia caliza, en cuyo centro se observa el animal totalmente perfecto y reducido interiormente a una cristalización increíble. No es menos notable la gran cantidad de huesos fósiles de enorme tamaño, como vértebras, costillas, fémures, que se encuentran cerca de aquella Sierra a la que llaman Cronzó, en una laguna llamada Catharina. ¿Qué ejemplos para sus pruebas no deducirán de estos objetos los Sectarios del célebre Sistema de Buffon; no menos para aquellos Naturalistas que están convencidos de que no se puede petrificar las sustancias blandas o carnosas de los animales?” (Feijó, 1814, pp. 55-56, traducción libre).

Muchas otras disciplinas pueden utilizar el tema de la minería y la explotación mineral en sus abordajes. Por ejemplo: en disciplinas de lengua, existe la posibilidad de lectura de obras literarias dentro de las escuelas del Barroco y del Arcadismo (Neoclasicismo), así como textos escritos en el contexto histórico y social de la minería, trabajo también interesante para las clases de Artes. En esta sugerimos aún el análisis de algunos grabados publicados en las memorias analizadas, la observación de pinturas de artistas ilustradores de la naturaleza de las colonias. Discusiones sobre explotación de la tierra y conflictos agrarios podrán realizarse en clases de Geografía y Sociología.

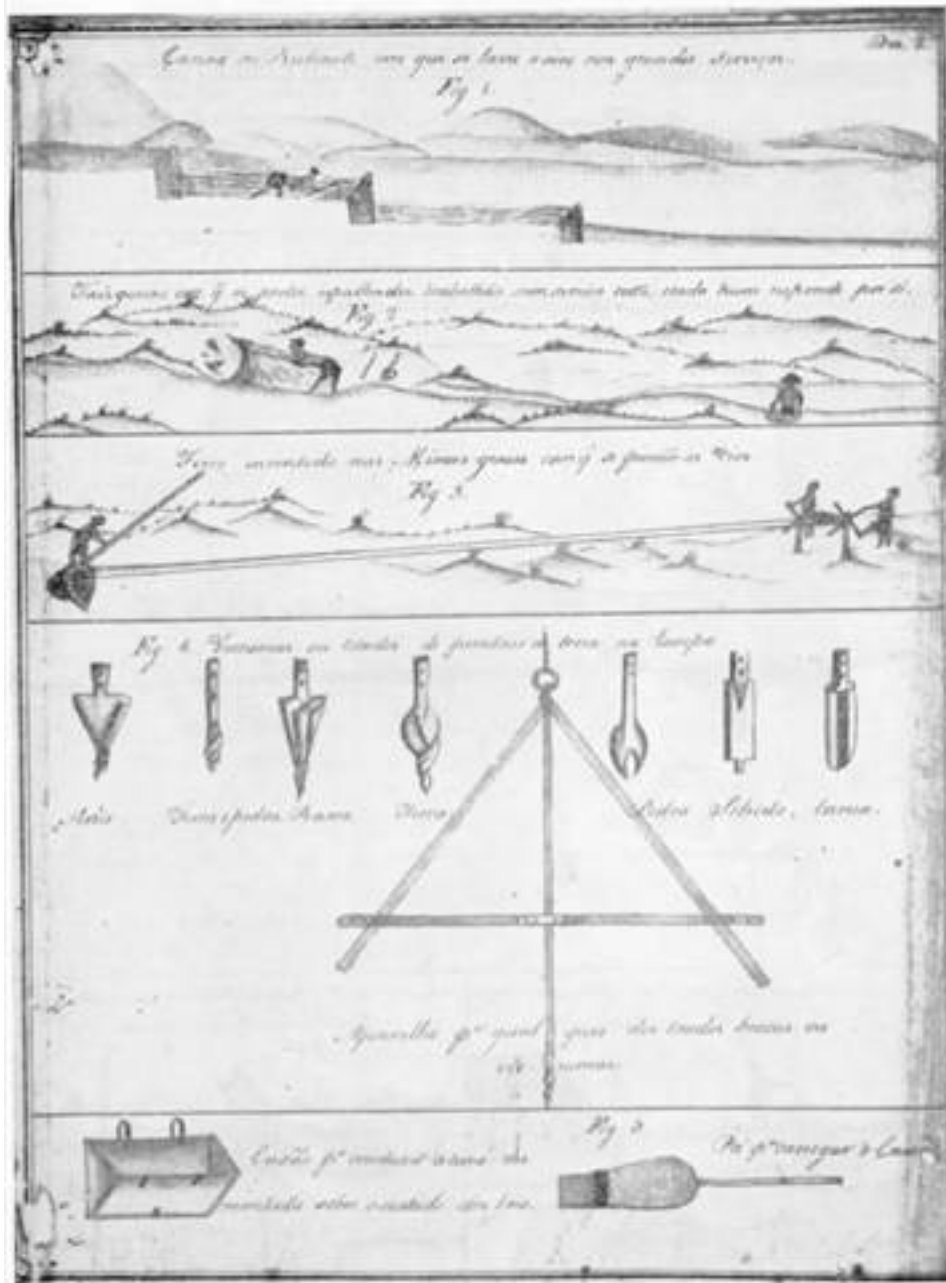


Figura 1. Diagrama de flujo de actividades propuestas con la minería como tema interdisciplinario

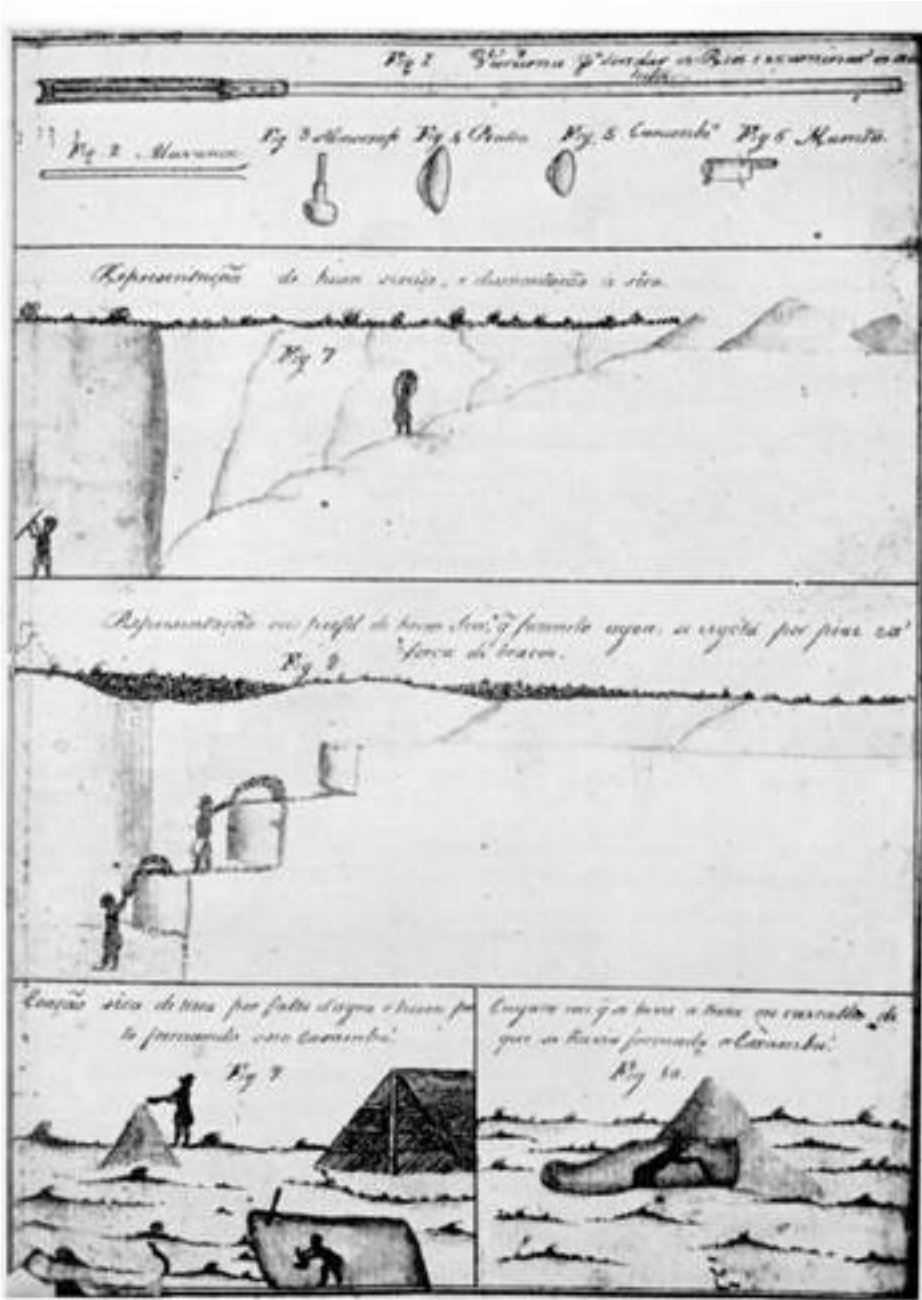


Figura 2. Grabados extraídos de la obra de José Manuel de Sequeira

Fuente: Sequeira, 1949

3. CONCLUSIONES

Como fue descrito en el inicio de este trabajo, el uso de la HFC en la enseñanza de las Ciencias Naturales ya es defendido desde la década de 1970 como una potencial herramienta para la

enseñanza más coherente con la realidad científica y tecnológica, comprometida con la naturaleza de la Ciencia y sus relaciones con la sociedad. Sin embargo, muchas veces se presenta un gran obstáculo al profesor: la ausencia de fuentes y conocimientos históricos disponibles para que pueda trabajar estos aspectos de la HFC en sus clases. En la gran mayoría de los casos, estos profesores de Ciencias Naturales, aunque se interesen por dicho abordaje, no tienen formación específica en Historia, lo que torna más difícil el acceso y la búsqueda de esos materiales históricos.

Creemos, por lo tanto, que la propuesta del uso de la temática de la minería en Brasil colonial y del contexto de las Ciencias de la tierra es una forma de ampliar la disponibilidad de material para que sean desarrolladas en clase más actividades con la HFC. El tema de la minería y los conocimientos geocientíficos están presentes en distintos países, como en Latinoamérica y Europa, y pueden adaptarse según la realidad de cada profesor - por esto entendemos que el caso aquí abordado puede ser un ejemplo a ser apropiado y adaptado por los lectores interesados.

Destacamos que, aunque este no sea un trabajo empírico y, por lo tanto, no tenga resultados mensurables acerca de su aplicación en clases¹, la eficacia de nuestra propuesta de uso de fuentes históricas con los estudiantes puede ser comprendida a través de resultados positivos presentes en la literatura internacional del área (Galdabini y Rossi, 1993; Borrego et al., 1996; Zanotello, 2011; Jankvist, 2013). Esta bibliografía, todavía, aún no es considerable en relación a trabajos que abarquen la historia de los desarrollos científicos de países non-hegemónicos en la historia mundial, como los latinoamericanos, africanos, etc. Es decir, nuestro objetivo central con este trabajo es contribuir con la confección de materiales y divulgación de historias y temáticas científicas locales (en este caso, brasileñas), promoviendo y estimulando la reflexión, en clases de ciencias naturales en general, acerca de las diferentes maneras de si hacer ciencia en diferentes contextos.

Defendemos también que el uso de fuentes históricas primarias tiene un gran potencial para clases no solo de Ciencias Naturales, sino también de otras disciplinas, al favorecer la comprensión del carácter interdisciplinario latente del conocimiento humano. Permite, de esta manera, la reflexión sobre distintos puntos de vista, contextos, épocas y relaciones establecidas en el ámbito del desarrollo científico. Los debates, controversias, errores y aciertos pueden ofrecer a los estudiantes una visión más completa y crítica sobre la evolución de la sociedad y de la Ciencia.

Destacamos aquí que no buscamos construir una propuesta de enseñanza de yeso, que actuaría como una guía prescriptiva para la actividad docente. Creemos que la presentación de las fuentes históricas y de sus sugerencias y posibilidades es un enfoque mucho más interesante y que respeta el papel independiente del profesor, que luego se puede adaptar los temas discutidos aquí, ampliándolos o concentrarlos de acuerdo con sus intereses y contextos.

Por lo tanto, esperamos, con esta propuesta, no solo divulgar los conocimientos desarrollados, aplicados e innovados en respecto a minería, sino también estimular, por parte de los profesores de Ciencias Naturales, la elaboración de sus propias investigaciones históricas, como esta que realizamos. Creemos que un profesor activo, que busque mejorar sus conocimientos y disponga de buenas fuentes, principalmente sobre la Historia de los contenidos que enseñe, puede descubrir nuevas ideas y elaborar sus clases incorporando la Historia y la Filosofía de la Ciencia.

¹ Señalamos, sin embargo, que la autora principal de este trabajo, mientras viene actuando como profesora en Brasil, ha hecho diferentes ensayos con inclusiones de fuentes históricas en sus clases de Química, especialmente en los estudios de ciencias de los materiales. Aunque ninguna coleta sistemática de datos esté aún siendo hecha en este contexto, los primeros resultados se muestran muy positivos para motivación de los estudiantes y para la comprensión de los diferentes actores y factores que influyen en la construcción y aplicación del conocimiento científico.

REFERENCIAS

- Adams, F. (1938). *The Birth and Development of the Geological Sciences*. Baltimore: The Williams & Wilkins Company.
- Alvarez, M.; Correa, A.; Rodrigues, U., y Marzoa, J. (2013). La Historia de las ciencias en el desarrollo de competencias científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 31 (1), 213-233.
- Antonil, A. (1976). *Cultura e opulência do Brasil*. 2ª ed. São Paulo: Melhoramentos.
- Borrego, M.; García, R.; Guede, B.; Menéndez, E., y Pacheco, F. (1996). La utilización de la Historia de la Ciencia para trabajar problemas relacionados con los fósiles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4 (1) 46-52.
- Câmara, M. (1789). Observações físico-econômicas acerca da extração do ouro das minas do Brasil. En M. Mendonça (1958). *O Intendente Câmara*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 512-513.
- Campos, C., y Cachapuz, A. (1997). Imagens de Ciência em Manuais de Química Portugueses. *Química Nova na Escola*, 6, 24-29.
- Collins, H., y Shapin, S. (1989). Experiment, science teaching, and the New History and Sociology of Science. En M. Shortland y A. Warrick (comp.). *Teaching the history of science*. Oxford: British Soc. Hist. Science: Basil Blackwell.
- Compiani, M. (2007). O lugar e as escalas e suas dimensões horizontal e vertical nos trabalhos práticos: implicações para o ensino de ciências e educação ambiental. *Ciência & Educação*, 13 (1), 29-45.
- Couto, J. (1848). Memoria sobre a capitania de Minas Geraes. *Revista do IHGB*, 11, 280-335.
- Couto, J. (1905). Memoria sobre as minas da capitania de Minas Geraes. *Revista do Arquivo Público Mineiro*, 10, 55-106.
- Fazenda, I. (1993). *Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro*. São Paulo: Loyola.
- Feijó, J. (1814). Memória sobre a capitania do Ceará. *O Patriota*, 3, 46-62.
- Figueirôa, S. (1997). *A formação das ciências geológicas no Brasil: uma história social e institucional*. São Paulo: Hucitec.
- Figueirôa, S. (1998). Mundialização da Ciência e respostas locais: sobre a institucionalização das ciências naturais no Brasil (de fins do século XVIII à transição ao século XX). *Asclepio*, 1 (2), 107-123.
- Figueirôa, S.; Silva, C., y Pataca, E. (2004). Aspectos mineralógicos das Viagens Filosóficas pelo território brasileiro na transição do século XVIII para o século XIX. *História, Ciências, Saúde - Manguinhos*, 11 (3), 713-729.
- Figueirôa, S. (2009). História e Filosofia das Geociências: relevância para o ensino e formação profissional. *Terræ Didática*, 5 (1), 63-71.
- Galdabini, S., y Rossi, O. (1993). Using historical papers in ordinary physics teaching at high school. *Science & Education*, 2 (3), 239-242.
- Gebara, M.; Kleinke, M. U.; Gandolfi, H. E.; Marim, M. M.; Nogueira, M. L.; Oliveira, J. M.; Peixoto, D. E.; Sarti, L. R.; y Trento, P. R. (2013). *Ciências da Natureza e Interdisciplinaridade: a*

percepção dos estudantes sobre questões de avaliações de larga escala. IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, I, 1539-1545.

Gooday, G.; Lynch, J.; Wilson, K., y Barsky, C. (2008). Does science education need the history of science? *Isis*, 99 (2), 322-330.

Hartmann, H., y Mutmanský, J. (2002). *Introductory Mining Engineering*. 2nd ed. Hoboken, USA: John Wiley and Sons.

Hodson, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.

Jankvist, U. (2013). History, Applications, and Philosophy in Mathematics Education: HAPh—A Use of Primary Sources. *Science & Education*, 22 (3), 635-656.

Jordan, T. (1989). Themes and schemes: A philosophical approach to interdisciplinary science teaching. *Synthese*, 80 (1), 63-79.

Klein, C., y Dutrow, B. (2012). *Manual de Mineralogia*, 23ª ed. Porto Alegre: Bookman.

Lopes, A., y Macedo, E. (2011). *Teorias de Currículo*. São Paulo: Cortez Editora.

Matthews, M. (1992). History, philosophy, and science teaching: The present rapprochement. *Science & Education*, 1 (1), 11-47.

Sa, J. (2013). Dialogos geograficos coronologicos polliticos e naturais escriptos. En: M. Guimarães, *América Portuguesa vista de Mato Grosso: Os Diálogos de José Barbosa de Sá (2a metade do século XVIII)*. Maestría em História Ibero-Americana. Departamento de História. Universidade Portucalense.

Saldaña, J. (1993). Nuevas tendencias en la historia de la ciencia en América Latina. *Cuadernos Americanos*, 2 (38), 69-91.

Santos, C., y Campos, R. (2013). Quando ferro valia ouro: análise das memórias mineralógicas de José Barbosa de Sá (1769). *Varia Historia*, 29 (49), 73-100.

Sequeira, J. (1949). Memória sobre a decadência das três capitanias, e os meios de as reparar. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro*, 203, 100-103.

Silva, C. (1999). *O desvendar do grande livro da natureza: As práticas geocientíficas no Brasil colonial vistas por meio de um estudo da obra mineralógica e geológica do cientista brasileiro José Vieira Couto, 1798-1805*. Maestría em Educação Aplicada às Geociências. Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas.

Silva, C. (2004). *Garimpendo memórias: As ciências mineralógicas e geológicas no Brasil na transição do século XVIII para o XIX*. Doctorado em Ciências. Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas.

Solbes, J.; y Traver, M. (2003). Against a negative image of science: history of science and the teaching of physics and chemistry. *Science & Education*, 12 (7), 703-717.

Toledo, M. (2005). Geociências no Ensino Médio Brasileiro - Análise dos Parâmetros Curriculares Nacionais. *Geol. USP, Publ. espec.* 3, 31-44.

Zanotello, M. (2011). Leitura de textos originais de cientistas por estudantes do ensino superior. *Ciência & Educação*, 17 (4), 987-1013.