

PROPUESTA PARA EL ABORDAJE DE LAS CONSECUENCIAS EN EL AMBIENTE DEL USO DE COMPUESTOS DEL FÓSFORO

Prof.^a Andrea Ortega

Instituto de Profesores Artigas. Montevideo. Uruguay.
aortegacfe@gmail.com

Resumen

Se presenta parte del proyecto propuesto en el concurso para efectividad en CFE –Departamento de Química– Sección Contenidos para la integración inter y transdisciplinar para la Educación en Química. Además de explicitar qué se entiende por interdisciplina y transdisciplina, conceptos que forman parte del nombre de la sección, se exhiben diferentes significados dados al concepto de ambiente, optando por la acepción sistémica de ambiente, acorde con la epistemología de la complejidad.

En las asignaturas que componen la sección es posible abordar contenidos curriculares con una perspectiva ambiental, analizando temáticas, problemas o conflictos ambientales que les sean de interés a los estudiantes por ser parte de su comunidad. Esto tiene la ventaja extra de permitir el trabajo interdisciplinario dentro del centro educativo.

La secuencia didáctica se elaboró con la convicción de que un profesor de Química debe ser capaz de trabajar con estrategias y dispositivos de formación fundados en el modelo pedagógico que aporta la Educación Ambiental, que considere momentos de planeación auténtica para diseñar situaciones-problema cercanas a la realidad de sus estudiante y orientadas a encontrar soluciones a las mismas y, en ese proceso, tome decisiones y autorregule su aprendizaje. Las actividades buscan el desarrollo de competencias científicas y competencias docentes que movilicen en los estudiantes del profesorado de Química recursos cognitivos que involucran saberes, capacidades,

valores, actitudes, esquemas de percepción, de razonamiento y de evaluación. Dichas operaciones cognitivas son complejas, por lo que la evaluación implica observar esa movilización expresada en diferentes desempeños, en la complejidad de las interacciones con sus pares y sus estudiantes.

Palabras clave: Ambiente; Educación ambiental; Ciclo del fósforo; Eutrofización.

1. Aspectos disciplinarios

1.1 Disciplina, multidisciplina, interdisciplina y transdisciplina

Las disciplinas surgieron como necesidad, buscando profundizar en el conocimiento de las partes para luego comprender el todo. Pero se fueron separando tanto que se perdió en el camino ese objetivo, haciéndose hoy difícil resolver los problemas complejos desde las especialidades. Una de las grandes divisiones fue la de naturaleza-sociedad, dando lugar a las ciencias naturales y a las ciencias humanas. Esa perspectiva dual fue cuestionada, a partir de mediados del siglo XX, por varios investigadores, entre ellos Edgar Morin, uno de los primeros y mayores representantes de la epistemología de la complejidad y del paradigma del pensamiento complejo y cuyos trabajos lideran un movimiento intelectual que tiende a una visión multidimensional de la ciencia, que propone “un diálogo intenso entre las disciplinas, tratando de superar las mutilaciones epistemológicas, con ojos que vean más allá de los campos específicos de las ciencias y admitiendo la posibilidad de ver las soluciones que están fuera del propio campo.” (Medina Núñez, 2006, p.91).

Es necesario precisar el significado dado a los términos de multi, inter y transdisciplinar. Se acuerda en esto con Sotolongo y Delgado (2006), quienes entienden a la *multidisciplina* (o polidisciplina) como “el esfuerzo indagatorio convergente de varias disciplinas diferentes hacia el abordaje de un mismo problema o situación a dilucidar” y a la *interdisciplina* como:

aquel esfuerzo indagatorio, también convergente, entre varias disciplinas –y, por lo mismo, en ese sentido, presupone la multidisciplinariedad– pero que persigue el objetivo de obtener “cuotas de saber” acerca de un objeto de estudio nuevo, diferente a los objetos de estudio que pudieran estar previamente delimitados disciplinaria o incluso multidisciplinariamente. (Sotolongo y Delgado, 2006, p.66)

Estos esfuerzos indagatorios, complementarios, asumen que el todo no es la suma de las partes y que las relaciones entre sus componentes lo hacen complejo, por lo cual se hace imprescindible el diálogo de saberes. La aparición de conceptos como *biodiversidad*, *socioambiente*, *biocultura* o *naturaleza híbrida* evidenció “la preocupación por formular investigaciones integrales e interdisciplinarias, pero también puso de manifiesto los vacíos epistémicos y/o las ambigüedades conceptuales de los científicos o grupos de científicos formulantes.” (Urquijo y Barrera, 2009, p.228)

Mientras que la interdisciplina se encuentra en el nivel del diálogo entre las ciencias, la transdisciplina se sitúa en el nivel de los nuevos conocimientos surgidos a partir de ella, pero colocándose en el campo de las nuevas ciencias que superaron las fronteras disciplinares. La transdisciplina es un intento de comprensión del mundo desde un enfoque holístico.

“(…) la perspectiva de la complejidad no se presenta como el nuevo paradigma donde se puede encontrar la verdad –lo cual sería volver a la visión simple de la realidad- sino solamente como la propuesta de una nueva mirada epistemológica sobre el mundo en que vivimos.” (Medina Núñez, 2006, p.114).

Por lo expuesto, se considera que los docentes responsables de unidades curriculares de la sección *Contenidos para la integración inter y transdisciplinar para la Educación en Química* deberán transitar por caminos que, al menos, conduzcan a la actividad interdisciplinaria de docentes y estudiantes dentro del Departamento de Química y, en la medida de lo posible, con otros departamentos del Consejo de Formación en Educación (CFE).

1.2 Estudio de reacciones químicas ambientales

Las reacciones químicas son objeto de estudio de la química, pero el adjetivarlas con la palabra “ambientales” podría implicar un primer recorte dentro de esta disciplina, ya que estaría involucrando a aquellos cambios químicos que tienen lugar en el ambiente.

Surge aquí un problema epistémico, que es el significado que se le dé al concepto de *ambiente*, el cual tiene diversas interpretaciones desde diferentes ciencias, incluso dentro de las ciencias ambientales. En este sentido, Morales-Jasso plantea que:

Tal polisemia genera, demasiado a menudo, que en los diálogos que sobre el ambiente se establecen, académicos con distinta matriz disciplinar no consi-

gan hablar de lo mismo (Bachelard, 1973, 133), lo cual resulta ser un impedimento para el desarrollo de las investigaciones que se centran en el emergente tema de lo ambiental. (Morales-Jasso, 2016, p.581)

Una acepción comúnmente utilizada para *ambiente* es aquella que refiere al entorno, al medio, al contexto, definiéndolo como “el lugar que nos rodea, con sus circunstancias físicas, químicas, biológicas antroposociales, lo que incluye las culturales y por tanto, las económicas y políticas” (Morales Jasso, 2016, p.588). Así definido, es funcional a los cánones dualistas de la racionalidad moderna entre objeto-sujeto, entre naturaleza y sociedad, entre ciencias naturales y ciencias sociales. Se utiliza para referirse a la relación humana con el ambiente, por lo tanto no considera al hombre parte del mismo.

La racionalidad compleja niega que el ambiente sea el medio que circunda a las especies, que sea un factor extracultural, sino que considera al ambiente como la totalidad resultante de la relación sistema-entorno, por lo que, al referirse a la interacción con el objeto, incluye al sujeto: “El ambiente es el producto –previsto o imprevisto– de las interacciones entre sistemas naturales y sistemas sociales a lo largo del tiempo.” (Castro, 2015)

Asumiendo este último concepto de ambiente, el recorte mencionado arriba no sería tal, ya que todas las reacciones químicas podrían ser consideradas ambientales.

El tema específico a desarrollar fue seleccionado para ser abordado desde la asignatura Química Ambiental y Toxicológica (QAyT), aunque, por un sentido de coherencia con la convicción de que se debe transitar hacia la transdisciplinariedad, recorriendo caminos de interdisciplinariedad, o al menos de polidisciplinariedad, se deberán buscar puntos de encuentro y cuestiones abordables desde las otras asignaturas, con el objetivo de dar la posibilidad de poner en práctica en la formación docente lo que se aspira que los futuros docentes forjen, hagan y fomenten en su ejercicio profesional en Educación Media.

1.3 Química ambiental

Según Chamizo, la química ambiental es parte de la quinta revolución química (1973-1993), la revolución ambiental, señalando a los resultados de las investigaciones sobre el efecto de los clorofluorocarbonos en la capa de ozono como su inicio.

No fue la primera vez que la industria química enfrentaba dificultades públicas por su capacidad de contaminar el ambiente, pero en esta ocasión, a

diferencia de todas las anteriores, inequívocamente el daño y el consiguiente riesgo eran globales. (...) la química ambiental (atmosférica) “apareció” con el advenimiento de las técnicas de análisis capaces de detectar una parte en mil millones, es decir, cuando se estuvo en posibilidad de distinguir una molécula específica entre mil millones de moléculas distintas. (...) Coincidente con el surgimiento de la química ambiental se reconocen y consolidan al menos tres nuevos territorios: la química organometálica, la supramolecular y la nanoquímica. (Chamizo, 2011, p.322)

En sus inicios, acorde al paradigma científico de la época, la ciencia ambiental consideraba su objeto de estudio a la hidrósfera, la atmósfera, la geosfera y la biosfera, considerando al conjunto de las actividades humanas como perturbaciones indeseadas, cuyos efectos sobre esas cuatro esferas ambientales, generalmente adversos, se producen al alterar su composición y los intercambios de materia y energía entre ellas. La definición de química ambiental que propone Manahan (2007, p.5) “estudio de las fuentes, las reacciones, el transporte, los efectos y destinos de las especies químicas en el agua, el suelo, el aire, y en los ambientes vivos, así como los consiguientes efectos de la tecnología sobre ellos.” se relaciona a una concepción de ambiente acorde a la acepción dualista. Sin embargo, el mismo autor indica:

Una visión así es demasiado estrecha, debiéndose incluir una quinta esfera, la antroposfera, que involucra a todas las actividades y los satisfactores que los humanos fabrican y hacen. Considerando a la antroposfera como una parte integrante del ambiente, los seres humanos pueden modificar sus actividades, las actividades antroposféricas, para hacer un daño mínimo al ambiente o, incluso, para mejorarlo. (Manahan, 2007, p.3)

Con esta modificación, y si se asume que uno de los objetos de estudio de la química ambiental son las interacciones entre las cinco esferas ambientales, se visualiza un acercamiento a la acepción sistémica de ambiente, y por tanto, a una epistemología ambiental que acuerda con la epistemología de la complejidad. Puede considerarse un área interdisciplinar, cuyos aportes provienen de áreas básicas de la química (analítica, orgánica, inorgánica, bioquímica, fisicoquímica), pero también de otras disciplinas como la geología, la biología, la toxicología, la física y la meteorología.

1.4 Ciclos biogeoquímicos

La materia ha circulado continuamente entre la hidrósfera, la atmósfera y la geosfera y si bien estas esferas se han ido transformando durante millones de años, aún en ausencia de vida en la Tierra, la aparición de la biosfera modificó rápidamente (en escala geológica) esa circulación, a través de los ciclos biogeoquímicos, que implican el pasaje dinámico de elementos y compuestos por fases bióticas y abióticas, según vías y procesos característicos. La modificación de los ciclos biogeoquímicos a causa de la antroposfera también ha sido muy rápida, pero en escala histórica.

Para cada elemento se puede reconocer el reservorio (gran depósito en el cual se da el mayor almacenamiento, generalmente abiótico y de movimiento lento) y la poza lábil o circulante (porción más pequeña del ambiente, pero más dinámica, en permanente intercambio). De acuerdo con su reservorio, los ciclos pueden clasificarse en gaseosos o sedimentarios. En los ciclos gaseosos el reservorio está en la atmósfera o la hidrósfera. Los ciclos gaseosos (por ejemplo, el del N), por lo general, se adaptan mejor a los cambios. Su poza circulante es más compleja y son ciclos bien amortiguados. Los ciclos sedimentarios (por ejemplo, el del P) tienen su reservorio en la corteza terrestre. Están menos regulados y son susceptibles de alterarse y desequilibrarse más fácilmente. “Todos los ciclos sedimentarios involucran disoluciones de sales o disoluciones del suelo que contienen sustancias lixiviadas de los minerales erosionados y disueltas en el agua; estas sustancias pueden depositarse como formaciones minerales o pueden ser asimiladas por los organismos como nutrientes.” (Manahan, 2007, p.12)

Los ciclos de nutrientes más importantes para los ecosistemas terrestres y acuáticos son los del carbono, del nitrógeno y del fósforo. Se optó por profundizar en el ciclo biogeoquímico del fósforo, considerando que un docente de Química no tendrá dificultad en encontrar información sobre las causas antropogénicas de los cambios en los ciclos del carbono y del nitrógeno y los efectos de dichas alteraciones, pues abunda en la bibliografía (en todos los soportes), ya que datan aproximadamente de los últimos 200 y 100 años, respectivamente, y han sido muy estudiados, dada su relevancia. Tampoco tendrá dificultad en transponer las estrategias didácticas y evaluación acorde a la metodología propuestas, que se cree podría ser el aporte relevante de este proyecto para la formación de docentes. Sin embargo, la información sobre las reacciones químicas (y bioquímicas) involucradas en el ciclo biogeoquímico del fósforo, las alteraciones antropogénicas sobre el mismo y sus efectos en las esferas ambientales, si bien existe y es

buena, no forma parte o es escasa en los libros de texto de química. Por otro lado, las consecuencias del aumento de la concentración de fósforo en sistemas acuáticos del Uruguay es una problemática actual, que permite realizar un abordaje contextualizado y con posibilidades de pensar en propuestas de solución reales, desarrollando competencias científicas y competencias docentes a través de metodologías activas.

1.5 Ciclo biogeoquímico del fósforo

Se trata de un ciclo sedimentario “abierto”, cuyo reservorio es la geosfera (suelo y rocas fosfatadas). La poza circulante tiene un andamio relativamente simple (Figura 1). A diferencia de otros ciclos biogeoquímicos, como el del nitrógeno y el del azufre, que están regulados por relaciones microbianas, la casi totalidad del fósforo deriva de la meteorización de las rocas sedimentarias de la corteza terrestre (depósitos denominados fosfita o roca fosfatada), en menas de apatito, $\text{Ca}_5\text{X}(\text{PO}_4)_3$ donde X puede ser OH, F o Cl.

Este ciclo es muy importante para la biosfera ya que el fósforo es un nutriente limitante. Las plantas (y otros autótrofos como protistas y cianobacterias) lo asimilan de manera directa cuando se encuentra como fósforo soluble reactivo, presente en el suelo y el agua como iones ortofosfato (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) (proveniente de minerales u otras fuentes como fertilizantes) y lo convierten a la forma orgánica (insoluble).

A través de la red trófica, se incorpora a animales herbívoros y carnívoros. De esta manera, el fósforo se traslada de la geosfera a la biosfera, pasando a formar parte del protoplasma vegetal y animal, y es incorporado a los ácidos nucleicos, a los fosfolípidos, a las cadenas de ADP y ATP, etc. En animales superiores también forma parte de huesos y dientes, y está presente en sus excretas.

Cuando los seres vivos mueren, sus tejidos son degradados, su descomposición microbiana “disuelve y libera (mineraliza) el fósforo para su nueva utilización.” (Henry y Heinke, 1999, p.318).

El contenido de fósforo de las excretas muchas veces no vuelve a la geosfera, y se elimina, por ejemplo, con las aguas residuales. Otro aporte de fósforo a la poza lábil está dado por los excrementos de algunas aves, que permite reincorporarlo al sistema a través de fertilizantes naturales (guano). El fósforo se reintegra al ciclo formando parte de fosfatos.

Aunque son muchos los elementos necesarios para mantener la vida en la hidrosfera, en oceanografía se consideran como principales “nutrientes” al nitró-

geno (nitrato y amonio), al fosfato y al silicato, lo cual tiene una base práctica, que es la disponibilidad de técnicas analíticas exactas y precisas para su cuantificación, aun en concentraciones bajas. (Harrison, 1999, p.174)

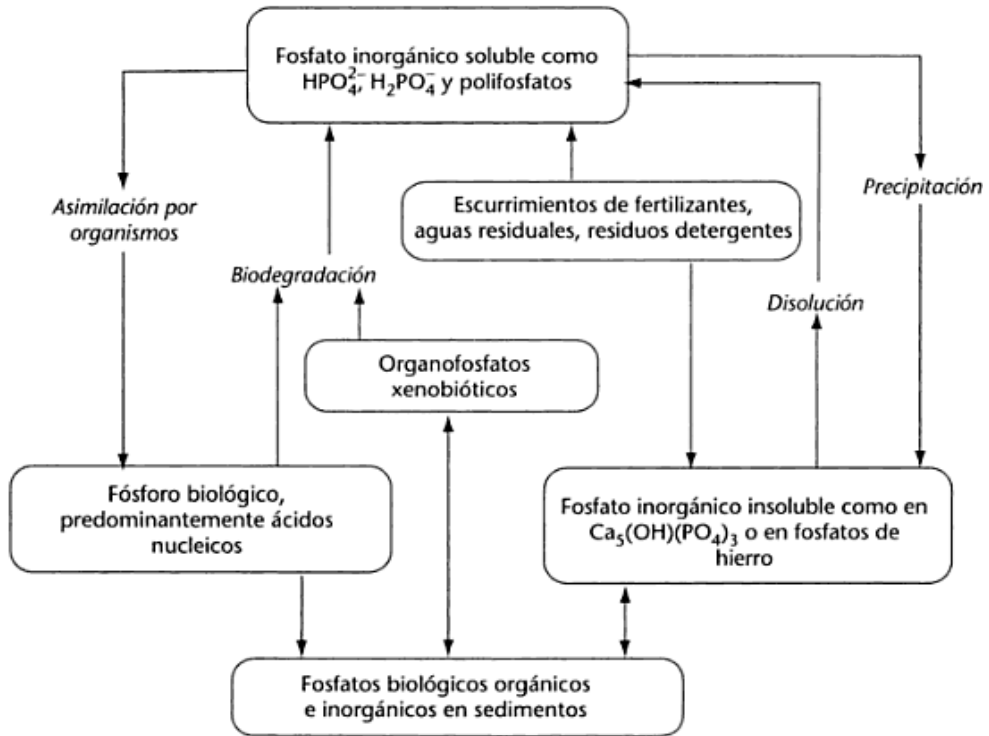
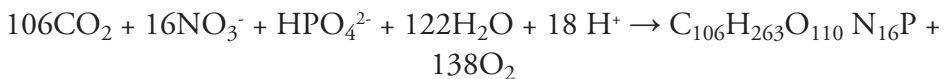
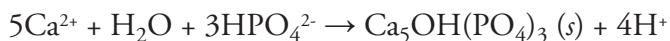


Figura 1: Ciclo del fósforo. Fuente: Manahan (2007, p.17)

Los nitratos y fosfatos se incorporan en las partes blandas de los organismos. La absorción de estos nutrientes en los tejidos se produce en cantidades relativamente constantes. La proporción de Riedfield de C:N:P (que surge de su ecuación modificada de la fijación de carbono) es 106:16:1 (Harrison, 1999, p.174):



Cuando un agua residual doméstica, industrial o agrícola, rica en fosfatos entra en un reservorio de agua que contiene una alta concentración de ion calcio, ocurre la siguiente reacción de precipitación para producir hidroxiapatita sólida (Manahan, 2007, p.75):



El producto de esta reacción, enlazado a la superficie de otros minerales, incorporado en la matriz de arcillas y otros minerales y como fósforo orgánico, forma parte del fósforo sedimentario en forma de minerales “discretos” de fosfato (Manahan, 2007, p.88). Esta misma reacción es utilizada en plantas de tratamiento de aguas servidas para disminuir su carga de fósforo.

Los huesos y dientes no se degradan con facilidad, las apatitas que los componen requieren de pH ligeramente ácido para disolverse, por lo que el fósforo presente en ellos puede salir de la poza circulante y pasar a formar parte de yacimientos fósiles o de sedimentos profundos.

El ion fosfato forma enlaces estables con óxidos estables, principalmente con óxidos de hierro, cuya afinidad es elevada. En suelos meteorizados, en los que existe una alta proporción de óxidos de hierro, la retención de fosfato es importante. Pero el ion hidróxido se une con intensidad sobre óxidos y silicatos, desplazando a buena parte de dichos aniones (Figura 2).

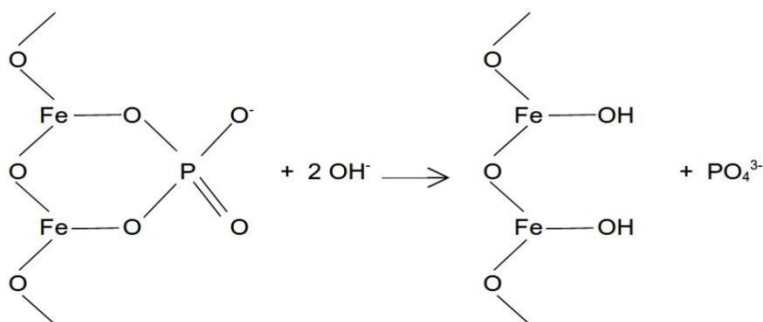
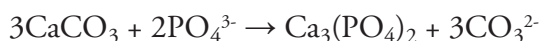
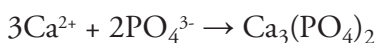


Figura 2: Desplazamiento del anión fosfato a pH elevados de la disolución del suelo

En suelos alcalinos y calcáreos, si bien hay un desplazamiento de los iones fosfato por iones hidróxido, la presencia de cationes calcio en la disolución del suelo a elevada concentración favorece la precipitación de fosfatos de calcio (Domènech y Peral, 2006, p.75):



En suelos ácidos, que contienen disueltos iones Al^{3+} , Fe^{3+} y Mn^{2+} , el anión fosfato suele estar adsorbido a las fases sólidas con estos cationes actuando de puentes metálicos (Figura 3).

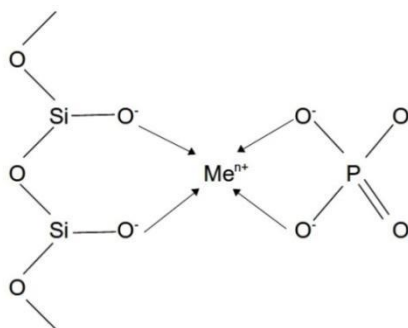


Figura 3: Adsorción de iones fosfato en suelos ácidos

Con el tiempo se van formando fosfatos insolubles, como los de aluminio (variscita, $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o hierro (estregita, $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Así pues, con relación a la disponibilidad del ion fosfato por parte de la vegetación, existe un pH óptimo para el cual la concentración de fosfato disponible en la disolución del suelo es máxima, siendo este pH 6.5. (Domènech y Peral, 2006, p.76)

En cuanto a las reservas de fósforo en la geosfera, han sufrido una reducción sostenida, pasando a ser la antroposfera un depósito importante de fósforo en el ambiente, a causa de la extracción de grandes cantidades de minerales de fosfato para producir fertilizantes, productos químicos industriales y aditivos para alimentos. “El fósforo es un constituyente de algunos compuestos extremadamente tóxicos, especialmente de los insecticidas organofosforados y de algunos gases militares venenosos, como el tristemente célebre Sarin y el agente VX.” (Manahan, 2007, p.17)

Muchas veces las prácticas asociadas al “más es mejor” hacen que buena parte de los fertilizantes químicos aplicados no cumplan su función y sean lixiviados de la zona de aplicación, arrastrados a cuerpos de agua y depositados en sedimentos. Una vez depositados, estos sedimentos ricos en fósforo pueden salir del sistema -si no son resuspendidos-, o bien convertirse en agentes de contaminación eutrófica cuando se depositan en cuerpos de agua lénticos y son posteriormente resuspendidos por la propia dinámica del cuerpo de agua.

2. Aspectos didácticos

2.1 Educación ambiental en la formación de docentes

Diversos autores han discutido sobre la idea de considerar a la Educación ambiental (EA) como un eje que permita unir los diversos conocimientos disciplinares. El reto es complejo ya que más allá de su bondad discursiva, un sistema transversal de enseñanza debe luchar con inercias disciplinarias que se resisten a la integración. (Guillén, 1996, p.107).

El profesorado necesita una formación múltiple que por una parte le procure modelos, estrategias y recursos para una didáctica ambiental, y por otra le acostumbre a integrarlos en una visión sistémica, al tiempo que le actualice en los conceptos, factores y problemas que conforman el funcionamiento del medio y la problemática ambiental. Esto implica una formación que incluya conceptos, pero también procedimientos y fundamentalmente en actitudes y valores.

La EA puede producir una relación estrecha entre los procesos educativos y la vida real, construyendo sus actividades alrededor de los problemas ambientales que comunidades particulares tienen que enfrentar y centrando sus análisis en ellos por medio de un enfoque interdisciplinario, que permita una comprensión adecuada de los problemas del ambiente. Los futuros docentes deberían considerar a la pedagogía de la EA como un camino válido para enseñar química, donde se involucren valores, donde se cuestione, donde se den oportunidades de pensar en futuros posibles.

2.2 Orientaciones metodológicas

La metodología utilizada intenta dar la oportunidad de abordar problemáticas reales con un enfoque integrador y volviendo explícitos los derechos y deberes de cada uno, contextualizando los contenidos con situaciones ambientales, partiendo de la realidad tanto local como global.

La contextualización puede llevarse a cabo de diversas formas. Una de ellas es la aquí propuesta: partir de una noticia nacional que menciona una problemática que existe en el país, en este caso, el exceso de P en las principales cuencas del Uruguay.

Haciendo las preguntas adecuadas, se realiza el diagnóstico sobre los conocimientos previos y se profundiza en el conocimiento de los conceptos que, explícita o implícitamente se presentan en la noticia y que son necesarios para

abordar el tema en su complejidad, para “desarrollar y activar un pensamiento perspectivista que integre las dimensiones bio-ecológica, social, económica y política” (Rivarosa y de Longhi, 2012, p.37).

El fin de la enseñanza de las ciencias no puede ser memorizar, repetir, clasificar, sino fomentar el desarrollo de actividades intelectuales superiores, como establecer relaciones, inferir, proyectar, pensar en lo posible, generar hipótesis, crear, diseñar y argumentar, a partir de los conceptos, hechos y procedimientos. Para abordar la complejidad del tema, considerando los aspectos biogeoquímicos y los aspectos sociales, y para llegar a la profundidad y responder los por qué, no solamente los qué, se requiere de tiempo, de espacios de discusión y reflexión. En este caso se planifican aproximadamente dos meses. Las actividades grupales se diseñaron con la intención de que el estudiante se enfrente al reto de aprender junto a sus pares asumiendo un papel activo, siendo el principal responsable de su aprendizaje.

2.3 Relevancia del tema para la enseñanza en la formación de formadores

El exceso de fósforo en los cuerpos de agua es una problemática ambiental relevante en Uruguay. En el verano 2019 fue protagonista la presencia de cianobacterias en playas de los departamentos del sur (desde Colonia a Rocha). Con la ley de riego aprobada en 2018 y la instalación de la segunda planta de UPM en Pueblo Centenario varios docentes de Facultad de Ciencias vaticinan graves problemas de eutrofización en la cuenca del Río Negro y en los embalses que se construyan. Esto puede dar lugar a un trabajo contextualizado en las aulas de gran parte del país. Los docentes de química deberían estar preparados para abordar esta problemática ambiental y la propuesta presentada aquí tiene el objetivo de que lo estén, no sólo por los conceptos químicos involucrados, sino, y fundamentalmente, por la aplicación de estrategias didácticas acordes a la educación ambiental, que busquen el desarrollo de competencias argumentativas, el pensamiento crítico, el abordaje interdisciplinario y contextualizado.

2.4 Estrategia para la enseñanza y el aprendizaje del tema

Con el convencimiento de que enseñar con el ejemplo es fundamental, esta propuesta apunta a darles la oportunidad a los estudiantes del Profesorado de Química de formar parte de una experiencia de EA, de vivenciarla para que visualicen las posibilidades de cambio, que conozcan herramientas y estrategias

a las que puede recurrir para incorporar en sus clases de química el enfoque ambiental y dando lugar a crear estrategias y recursos para aplicar en su práctica.

La finalidad formativa que se pretende cubrir con la enseñanza del tema en el profesorado de Química es, además de los contenidos, formar ciudadanos ambientales informados y convencidos de que para realizar cambios y mejorar las condiciones ambientales es necesaria la participación activa e informada de cada uno de los pobladores de la Tierra.

La enseñanza puede entenderse como un proceso de ayuda para el logro de aprendizajes significativos, utilizando diferentes recursos. Pero debe considerarse que “es una construcción conjunta como producto de los continuos y complejos intercambios con los alumnos y el contexto instruccional (institucional, cultural, etcétera), que a veces toma caminos no necesariamente predefinidos en la planificación.” (Díaz-Barriga y Hernández, 2007, p.140). Por esto, para el abordaje del tema, sólo se podrá controlar con cierta seguridad las actividades a realizar en las primeras clases, el resto de las propuestas seguirán el orden negociando con los estudiantes.

2.4.1 Primera actividad

El punto de partida es una noticia. Para este trabajo se utiliza *El fósforo: un contaminante permanente del agua en Uruguay* (La diaria, 22 de marzo de 2019).

Además del link de acceso al artículo, se entrega una copia impresa a grupos de 3 estudiantes, para que puedan subrayar, comentar, destacar, etc., solicitando que, mientras realizan la lectura registren en sus cuadernos (formará parte de su portafolio de evidencias) los términos que desconocen y cuáles son las frases que no comprenden.

Luego de una puesta en común, intercambiando posibles significados, se plantean las siguientes preguntas: ¿Cuáles son las causas de la problemática ambiental que se mencionan en la noticia? ¿Quiénes son los actores involucrados en esa problemática? (distinguir entre afectados y responsables) ¿Cuáles son las propuestas para solucionar dichas problemáticas? ¿Qué organismo/s las realizan? Se intercambiarán las hojas de respuestas entre los grupos, para luego dialogar sobre las similitudes y diferencias en los análisis realizados.

Al finalizar la clase se indica como tarea elaborar un mapa conceptual que incluya todos los conceptos encontrados en el artículo que estén relacionados con el programa de QAyT o de otras asignaturas que hayan cursado o estén cursando.

2.4.2 Segunda actividad

Elaboración de un mapa conceptual colaborativo (máximo 6 estudiantes por equipo, al menos dos grupos). Los materiales necesarios son: cartulinas, marcadores, lana, cinta adhesiva y tijera.

En función de los mapas conceptuales individuales, recortar la cartulina para escribir todos los conceptos encontrados por los integrantes.

Podrán armar los mapas sobre pizarrones, haciendo las conexiones con marcadores, o sobre las mesadas, utilizando lanas como conectores. Una vez acordado por todos los integrantes del equipo, se fotografía el mapa conceptual colectivo, que se subirán a un PADLET (pizarra virtual) para compartir.

Tarea individual: elaborar un nuevo mapa conceptual utilizando el programa Cmap Tools y compartirlo en clase con un dispositivo que permita editarlo, o enviándolo a su docente con al menos 24 horas de anticipación. En la clase siguiente se revisarán los trabajos realizados y se seleccionará uno de ellos (el más completo) trabajando sobre el mismo para incorporar la mayor cantidad posible de conceptos y relaciones.

2.4.3 Tercer actividad

La profundización en el análisis de la problemática y su vinculación con la asignatura se realiza respondiendo a una serie de preguntas. En el artículo tomado como ejemplo, las mismas podrían ser: ¿qué significa que en los últimos tres años “el porcentaje de masas de agua de calidad aceptable en las cuencas prioritarias del país (cuencas de los ríos Santa Lucía, Negro y Cuareim) bajó de 97% a 94%”? ¿Cómo se realizaron las mediciones para afirmarlo? ¿Qué actividades agropecuarias son las que producen la contaminación difusa mencionada en el artículo? ¿Considera que también pueden existir fuentes puntuales de fósforo? ¿Es correcta la afirmación: “La eutrofización tiene como efecto visible la proliferación de cianobacterias en los cursos de agua, que son tóxicas para personas y animales”?

Inicialmente se trabaja en grupos de tres personas. Luego se reorganizan, formando grupos integrados por estudiantes de cada uno de los grupos de la primera instancia. Se finaliza con una puesta en común, poniendo en diálogo los contenidos discutidos con los programas de QAyT y los de los cursos de Educación Media.

La tarea para la siguiente actividad será leer el artículo de Bonilla, Aubriot, y Piccini (2013), para profundizar en el conocimiento de cianobacterias y cianotoxinas y elaborar un documento resumen.

2.4.4 Cuarta actividad

Se propone el árbol de problemas como herramienta para el diagnóstico y análisis de problemáticas ambientales. Es una técnica utilizada para comprender y buscar soluciones a un problema central, que se coloca en el tronco del árbol, ubicando en las raíces sus causas y en la copa sus efectos.

Las preguntas a responder: ¿Cuáles son las causas de las floraciones de cianobacterias? ¿Cuáles son las consecuencias de las floraciones de cianobacterias? ¿Por qué las cianobacterias producen compuestos llamados toxinas? ¿Qué se puede hacer ante la problemática de las floraciones de cianobacterias?

2.4.5 Quinta actividad

Se inicia con una presentación para explicar las nociones de SITUACIÓN, PROBLEMA y CONFLICTO AMBIENTAL y sus diferencias. Luego se solicita indicar si en sus localidades reconocen la existencia de un cuerpo de agua con exceso de fósforo. Las siguientes posibles preguntas a responder son: ¿Qué ha sucedido para que se llegue a esa situación? ¿Por qué es un problema? ¿Existe un conflicto ambiental? ¿Cuándo considera que inició? ¿Quiénes son los responsables? ¿A quiénes afecta? ¿Con qué argumentos fundamentan la generación de contaminación los responsables? ¿Cuáles podrían ser las alternativas de solución? ¿De qué manera afectaría la aplicación de estrategias tributarias a la/s actividad/ es involucrada/s? ¿Qué propondrían ustedes si tuvieran poder de decisión política?

En cuanto al origen del problema y las alternativas de solución, se trabajará con las reacciones químicas incluidas en el apartado 1.5. Se propone discutir la posibilidad de revertir la eutrofización cultural (antropogénica) al reducir de manera sustancial la afluencia de nutrientes. Para las fuentes puntuales, la posibilidad de eliminar optando por descargas controladas en tierra, tratamiento previo a la descarga (con cal u óxido de hierro) para la eliminación de nutrientes antes de su descarga en aguas superficiales. En cuanto a las cargas de fuentes difusas, la discusión pasa por alternativas tributarias y/o la gestión ambiental, ya que se

podría reducir a través de técnicas de administración de la tierra que impidan la erosión del suelo y eviten el uso excesivo de fertilizantes fosfatados.

2.4.6 Sexta actividad

La vinculación de la temática con el módulo *Suelo y ambiente* son los agroquímicos fosforados, tanto fertilizantes como insecticidas. Los aspectos toxicológicos están relacionados con la presencia de hepatotoxinas y neurotoxinas generadas por algunos géneros de cianobacterias y por la utilización y degradación de pesticidas organofosforados. La vinculación con el módulo *Agua y ambiente* está dada por los problemas generados para la obtención de agua potable utilizando agua de cuerpos de agua con floraciones de cianobacterias y algales, requiriendo la utilización de carbón activado en el proceso, ya que el proceso “normal” que realiza OSE (por tratarse de una secuencia de métodos de separación de fases y desinfección) no permite eliminar compuestos orgánicos disueltos. Por ello se subdivide el grupo para que los diferentes equipos de trabajo aborden alguna de esas temáticas, seleccionándola de acuerdo a su motivación, interés y posibilidades de aplicación en sus grupos de práctica. Para preparar el tema que seleccionen y presentarla en clase disponen de tres semanas. En las semanas intermedias se realizan las actividades séptima y octava, en las que se aborda el tema de fertilizantes comerciales y orgánicos, poniendo en discusión la utilización de los primeros y pensando en alternativas para sustituirlos.

Se acuerda con los estudiantes los criterios de valoración y niveles de desempeño de la rúbrica a utilizar para evaluar la presentación del tema seleccionado, que será utilizada tanto por su docente como por sus pares.

2.4.7 Séptima actividad

Entre la selección del tema y la presentación, la clase se destina a responder las siguientes preguntas: ¿Por qué es necesario el uso de fertilizantes en las actividades agropecuarias? ¿Siempre se utilizaron fertilizantes? ¿Cómo se obtienen los fertilizantes comerciales? ¿Cuál es su composición? ¿Qué se entiende por “revolución verde”? ¿Qué consecuencias tuvo? ¿Existen alternativas al modelo agrícola actual? ¿Qué es la vermicultura? ¿Cómo se realiza el compostaje industrial? (podría incluir visita a la Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos)

Se propone elaborar una línea del tiempo donde se ubiquen las distintas formas en las que el ser humano hizo y hace uso agrícola del suelo, mostrando

cuáles fueron los “avances tecnológicos” y/o los conocimientos científicos que generaron modificación del mismo.

2.4.8 Octava actividad

Cuantificación de fósforo en fertilizantes y suelos. A partir de muestras de fertilizantes comerciales, en cuyas etiquetas generalmente se expresa el contenido de fósforo como P_2O_5 , se realizan todos los cálculos (de dilución, estequiométricos, de preparación de soluciones patrón y auxiliares) para la determinación del contenido de ortofosfato reactivo soluble utilizando las técnicas espectrofotométricas APHA-P_C, (II) y APHA-P-E, a 470nm y a 880nm respectivamente.

2.4.9 Otras posibles actividades a proponer

- Visita a una chacra donde no se utilizan agroquímicos.
- Debate: ¿Agronegocios o agroecología?
- Análisis geopolítico, trabajando con los siguientes recursos: Quién controle el fósforo controlará el mundo, Marruecos y los fosfatos: incierto futuro y Yacimientos minerales de fosforo, entre otros.
- Muestra de fotografías – Los estudiantes comparten fotografías de su autoría que puedan utilizar en su clase de práctica como disparador para el análisis de un conflicto ambiental. En la muestra cada uno explica cómo la utilizaría y recibe aportes por parte de sus pares para mejorar su propuesta didáctica.

2.5 Evaluación

La evaluación del proceso de aprendizaje debe ser congruente con la metodología y los objetivos de enseñanza expuestos, valorando y apoyando a la evolución de los modos utilizados por los estudiantes para comprender los significados y proponer formas de actuación. La primera actividad se trata de una evaluación diagnóstica sobre comprensión lectora, capacidad de comunicación y el conocimiento de terminología que es propia de las ciencias ambientales pero puede ser desconocida para los estudiantes.

Durante el transcurso de las actividades segunda a quinta, séptima y octava, la evaluación es de carácter formativo, obteniendo información de los productos individuales y colectivos de las diferentes actividades, que cada estudiante

organizará en su portafolio de evidencias. Para la sexta actividad se incluye la coevaluación y la autoevaluación, utilizando la rúbrica acordada.

Como actividad de cierre y evaluación auténtica se plantea una tarea situada: la planificación de una unidad didáctica para un curso de Educación Media, que aborde una situación, problema o conflicto ambiental relevante y actual relacionado con el ciclo de nitrógeno o con el ciclo del carbono. Esto dará la posibilidad de identificar la coherencia entre lo conceptual y lo procedimental, además de seguir desarrollando competencias docentes durante su evaluación.

Referencias bibliográficas

- Bonilla, S., Aubriot, L. y Piccini, C. (2013). Cianobacterias y cianotoxinas. *Uruguay Ciencia*. (16), 26-28. http://www.uruguay-ciencia.com/articulos/UC16/Cianobacterias_cianotoxinas_UC16.pdf
- Castro, G. (2015). Veritas filia temporis. Del ambiente como categoría política. Firmas Selectas. <https://firmas.prensa-latina.cu/index.php?opcion=ver-article&authorID=121&articleID=41&SEO=castro-herrera-guillermo-nils-veritas-filia-temporis-del-optimo-ambiental-como-categoria-politica>
- Chamizo, J.A. (2011). La imagen pública de la química. *Educación química*, 22(4), 320-331. <http://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v22n4/v22n4a7.pdf>
- Díaz Barriga, F; Hernández, G. (2007). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo*. 2ª edición. México. Mc Graw Hill.
- Domènech, X. y Peral, J. (2006) *Química Ambiental de Sistemas Terrestres*. Editorial Reverté. Barcelona, España. ISBN: 84-291-7906-2
- Guillén, Fedro. (1996). Educación, medio ambiente y desarrollo sostenible. *Revista Iberoamericana de Educación*. (11), 103-110.
- Henry, J.G. y Heinke G.W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Segunda Edición. Prentice Hall Hispanoamericana, México.
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. Ed Reverté.
- Medina Núñez, I. (2006). Interdisciplina y complejidad. ¿Hacia un nuevo paradigma?. *PERSPECTIVAS*. (29), 89-130. Universidade Estadual de Sao Paulo, Brasil.
- Morales-Jasso, Gerardo. (2016). La categoría “ambiente”. Una reflexión epistemológica sobre su uso y su estandarización en las ciencias ambientales. *Nova scientia*, 8(17), 579-613. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052016000200579&lng=es&tlng=es.
- Morin, E. (2005). *Introduction à la pensée complexe*. Paris: Éditions du Seui, 2005.
- Rivarosa, A. y De Longhi, A. (2012). *Aportes didácticos para nociones complejas en Biología: la alimentación*. 1a ed. - Buenos Aires: Miño y Dávila editores.

- Sotolongo, P. y Delgado, C. (2006). La complejidad y el diálogo transdisciplinario de saberes. En *La revolución contemporánea del saber y la complejidad social. Hacia unas ciencias sociales de nuevo tipo*. ISBN 987-1183-33-X. (pp. 65-77) <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/campus/soto/soto.html>
- Urquijo Torres, P., y Barrera Bassols, N. (2009). Historia y paisaje. Explorando un concepto geográfico monista. *Andamios. Revista de Investigación Social*, 5 (10), 227-252. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62811391009> (16 de abril del 2016).