



Química para la Sostenibilidad en la Formación del Profesorado

Chemistry for Sustainability in Teacher Training

Laura Mascarell

Universitat de Valencia
masbolau@alumni.uv.es

Amparo Vilches

Universitat de València
amparo.vilches@uv.es

Resumo

O objetivo principal deste artigo é mostrar o papel da Química Verde, ou Química para a Sustentabilidade, na educação científica e na formação de professores, no sentido de retirar contribuições deste campo para a Ciência da Sustentabilidade e, portanto, para a formação de sociedades sustentáveis.

Para este efeito, apresentam-se os resultados de uma análise realizada sobre o enfoque que o ensino e a própria investigação no campo da didática estão oferecendo às contribuições de Química Verde e à possibilidade da sua incorporação na formação de professores, no sentido de ser oferecida uma melhor educação para a cidadania e para a adoção de medidas que contribuam para a construção de um presente e um futuro sustentáveis.

Palavras-chave: Química Verde; Ciência da Sustentabilidade; Formação de Professores; Futuro Sustentável.

Resumen:

Esta comunicación tiene como objetivo central mostrar el papel de la Química Verde, o Química para la Sostenibilidad, en la Educación científica y la Formación del profesorado, para contribuir desde ese campo a la Ciencia de la Sostenibilidad y por tanto a la transición hacia sociedades sostenibles.

Para ello se mostrarán los resultados de un análisis llevado a cabo acerca de la atención que la enseñanza y la propia investigación en el campo de la investigación didáctica están prestando a las aportaciones de la Química Verde y la posibilidad de su incorporación en la formación del profesorado para una mejor educación de la ciudadanía y la adopción de medidas para contribuir a la construcción de un presente y un futuro sostenibles.

Palabras clave: Química Verde; Ciencia de la Sostenibilidad; Futuro Sostenible; Formación Profesorado.

Abstract:

The main aim of this presentation is to show the role of Green Chemistry, or Chemistry for Sustainability, in Science Education and Teacher Training, and to withdraw contributions from this scope to the Science of Sustainability and, therefore, to the development of sustainable societies.



For this purpose, we will present results from a research on the attention that teaching and research have given to the contributions of Green Chemistry and to the possibility of its incorporation in teacher training, in order to provide better educational opportunities towards citizenship and the adoption of measures that may contribute to the development of a sustainable present and future.

Keywords: Green Chemistry; Sustainability Science; Sustainable Future; Teacher Training.

Introducción

Estamos viviendo una situación marcada por toda una serie de problemas socioambientales estrechamente relacionados y que se potencian mutuamente (contaminación y degradación de los ecosistemas, agotamiento y destrucción de los recursos vitales, cambio climático, desequilibrios insostenibles ...). Una situación de auténtica emergencia planetaria (Bybee, 1991) que plantea un enorme y urgente desafío a la humanidad, para hacer posible incluso la continuidad de la especie humana (Broszmitter, 2005; Comisión Mundial del Medio Ambiente & del Desarrollo, 1988; Naciones Unidas, 1992; Vilches, Macías, & Gil Pérez, 2014; WorldWatch Institute, 1984-2016).

Este hecho, avalado por los resultados convergentes de estudios científicos bien fundamentados, a lo largo de las últimas décadas, ha dado lugar a numerosos llamamientos de especialistas y de organizaciones internacionales (Brown, 2004; Bybee, 1991; Delibes & Delibes de Castro, 2005; Duarte, 2006; Folch, 1998; Edwards, Gil Pérez, Vilches, & Praia, 2004; Lewin, 1997; Naciones Unidas, 1992; Tuxill & Bright, 1998; Vilches & Gil-Pérez, 2003, 2009), y en particular a la celebración de las llamadas Cumbres de la Tierra en Río de Janeiro, en 1992, y en Johannesburgo diez años después. En ambas se reclama la participación de los educadores de todas las áreas y niveles tanto de la educación formal como de la no reglada, para que contribuyamos a formar ciudadanos y ciudadanas conscientes de la actual situación de emergencia planetaria, y preparados para participar en la necesaria toma de decisiones.

Sin embargo, los numerosos llamamientos no han tenido una respuesta adecuada. Y por ello, en la Segunda Cumbre de la Tierra (Johannesburgo, 2002), surgió la propuesta de realizar una campaña intensa y de larga duración con el propósito de conseguir la implicación de los educadores en la formación de una ciudadanía concienciada de la grave situación del planeta y las necesarias medidas que se deberían llevar a cabo. Esta acción consistió en la institución de la "Década De La Educación Por Un Futuro Sostenible" (2005-2014)¹, y respondía, por una parte a la llamada de atención de los especialistas y sectores dinámicos de la ciudadanía alrededor de la gravedad de los problemas a los que se enfrenta actualmente la humanidad y, por otra parte, a la constatación de que estas llamadas de atención no estaban teniéndose en cuenta ni por parte de la ciudadanía, ni de los representantes políticos. Finalizada la Década, e impulsado en la denominada Cumbre de Río +20, celebrada en 2012, Naciones Unidas ha puesto en marcha un *Programa de Acción Global* que toma como base los logros alcanzados en el marco de la Década, con el fin de seguir desarrollando el compromiso internacional de fomentar la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) y cuyo fin último es avanzar en la necesaria y todavía posible transición a la Sostenibilidad.

En este contexto, y con el objetivo de contribuir desde el ámbito de la Química y su enseñanza a la formación de una ciudadanía preparada para su implicación en la transición a sociedades sostenibles, en esta investigación nos proponemos analizar la atención que la enseñanza y la propia

¹ www.oei.es/decada



investigación en el campo de la Didáctica de las Ciencias están dando a las aportaciones de la Química Verde y la necesidad y posibilidad de su incorporación en la educación científica y la formación del profesorado, para una mejor educación de la ciudadanía y la adopción de medidas para contribuir a la construcción de un presente y un futuro sostenibles.

Contextualización teórica

En 2008, la Asamblea General de las Naciones Unidas (UN) proclamó 2011 como Año Internacional de la Química (resolución 63/209). Los principales objetivos, tal como se señala en la web² que UN dedica al evento, fueron, entre otros, aumentar la concienciación y comprensión por parte del gran público de cómo la química puede responder a las necesidades del mundo, fomentar el interés de los jóvenes hacia la química y celebrar las contribuciones de las mujeres al mundo de la química. En particular se hacía coincidir con uno de los principales hitos históricos en ese sentido, como es el primer centenario de la concesión del Premio Nobel a Marie Curie y la creación de la Asociación Internacional de Sociedades Químicas.

Se pretendía que el año de la Química se celebrara para dar a conocer e impulsar sus importantes contribuciones al conocimiento, a la protección medioambiental, a la mejora de la salud y al desarrollo económico:

La enseñanza y la apreciación de la química son fundamentales para abordar problemas como el cambio climático mundial, ofrecer fuentes sostenibles de agua potable, alimentos y energía, y mantener un medio ambiente sano para el bienestar de todas las personas. De la química y sus aplicaciones se obtienen medicamentos, combustibles, metales y prácticamente todos los demás productos manufacturados. (Chemistry 2011.ORG, n. d.³)

Con esos objetivos, la UNESCO, designada como organizadora, en colaboración con la IUPAC animaron a participar y a implicarse al máximo en las actividades programadas para el Año Internacional de la Química 2011.

Todo ello muestra claramente la necesidad de la participación del profesorado en hacer comprender el relevante papel de la Química en nuestras sociedades, en particular por el desafío de la construcción de sociedades sostenibles, tarea en la que la Química debe desempeñar un importante papel. Abordar esta problemática en las clases de ciencias, y por tanto en la formación del profesorado que lo va a llevar adelante, contribuirá, como han mostrado diferentes investigaciones (Garritz, 2011; Vilches y Gil Pérez, 2011), a superar algunas incomprensiones y visiones negativas hacia el papel y la responsabilidad de la Química respecto a los problemas del planeta, favoreciendo de esta forma el interés de los jóvenes hacia esta disciplina y su estudio. Porque, como ha puesto de manifiesto la investigación educativa (Vilches y Gil Pérez, 2011), hay quienes atribuyen el origen de los problemas a los que se enfrenta la humanidad a la actividad de la química y, más en general, de la ciencia y la tecnología. Se trata de una simplificación en la que es muy fácil caer, porque hoy la ciencia y la tecnología y en particular la química lo impregnan todo, pero no podemos ignorar que aunque muchos de los problemas están relacionados con actividades tecnocientíficas, también son científicos quienes estudian los problemas a que se enfrenta la humanidad, advierten

² www.un.org/es/events/chemistry2011/background.shtml

³ www.chemistry2011.org



de los riesgos y ponen a punto soluciones (Sánchez Ron, 1994).

Llamamientos a la comunidad científica y educativa

Como ya señalamos en la introducción, la gravedad de la situación socioambiental a la que nos enfrentamos ha conducido a una serie de llamamientos que la propia comunidad científica, de forma convergente, ha dirigido a sus miembros reclamando su atención (Lubchenco, 1998; Vilches & Gil Pérez, 2011; Worldwatch Institute, 1984-2016).

Así, entre otros, además de la decisión de proclamar 2011 como Año Internacional de la Química, con anterioridad, podemos referirnos al realizado a finales de la década de los 90 del siglo XX por Jane Lubchenco (1998), cuando era presidenta de una de las asociaciones científica más importantes a nivel mundial, la American Association for the Advancement of Science (AAAS), tanto por el número de miembros como por la cantidad de premios Nobel y científicos de alto nivel que la forman. En ese llamamiento, se reclamaba que el siglo XXI debía ser para la ciencia el siglo del medio ambiente y que la comunidad científica debería iniciar acciones urgentes para resolver los problemas que amenazan el futuro de la humanidad. De esta forma se pretendía estimular un diálogo sobre los cambios que está sufriendo nuestro planeta, cuáles son las implicaciones de estos cambios para la sociedad, qué papel juega y debe jugar la ciencia y cómo deben responder los científicos ante estos desafíos.

Entre los llamamientos, podemos destacar también el denominado "*Memorando de Estocolmo: Inclinando la balanza hacia la Sostenibilidad*", documento firmado en mayo de 2011 por los participantes en el Tercer Simposio sobre la Sustentabilidad Ambiental⁴, promovido por Naciones Unidas, entre los que figuran premios Nobel de Física, Química, Economía, Medicina y Literatura. El memorando publicado reclama una urgente transición a la Sostenibilidad que implica una transformación radical en la forma de usar la energía y las materias primas mediante mecanismos que desacoplen el desarrollo económico de la utilización de recursos energéticos contaminantes y no renovables. En el mismo sentido, mención especial merece el Programa de Investigación de 10 años "*Future Earth – Research for Global Sustainability*"⁵ lanzado en 2012 tras la Cumbre de la Tierra Río+20 por el International Council for Science (ICSU), que pretende movilizar a millares de científicos y reforzar los vínculos con los responsables en la toma de decisiones, para fundamentar el profundo cambio global que supone la transición hacia la Sostenibilidad.

Se trata de llamamientos que no solamente se han dirigido a la comunidad científica sino que también han sido destinados a la comunidad educativa, como señalábamos en la introducción, en particular haciendo énfasis en la necesidad de la educación para la Sostenibilidad y de la importancia de formar ciudadanos científicamente alfabetizados. Ámbitos y objetivos muy relacionados con los propósitos que se pretenden en este trabajo.

Respondiendo a los llamamientos de Naciones Unidas, todos los educadores hemos de contribuir a que la ciudadanía adquiera una correcta percepción de los problemas y desafíos a los que la humanidad ha de hacer frente para de esta forma poner en marcha las medidas necesarias. Como docentes, tenemos que aprovechar las numerosas ocasiones que nos proporciona la enseñanza de las ciencias y de la Química en particular para la formación de una ciudadanía responsable y

⁴ <http://globalsymposium2011.org/es>

⁵ <http://www.icsu.org/future-earth>



preparada para participar en la construcción de un presente y un futuro sostenibles.

Importancia de la Química Verde. Principios básicos

Muchos de los avances que han hecho posible nuestro desarrollo como especie y la mejora de la calidad de vida son o están relacionados con procesos químicos. Al mismo tiempo, no tenemos que olvidar que se ha registrado un ritmo insostenible del uso de los recursos y un aumento de los residuos, muchos de ellos contaminantes, que son perjudiciales tanto para el planeta como para los seres vivos que habitamos en él. Ante esta problemática, las personas que trabajan en el campo de la química empiezan a asumir la parte de responsabilidad, entre otras, en el tema de la contaminación, iniciando una serie de investigaciones para la protección del medio así como para la sensibilización hacia los problemas socioambientales.

En ese sentido, el origen de la Química Verde o Química para la Sostenibilidad se encuentra estrechamente relacionado con el concepto de Desarrollo Sostenible, propuesto por el Informe Brundtland (1987), pero no es hasta finales de los años 90 cuando empiezan a aparecer los primeros documentos que describen las pautas que se debían seguir en la modificación de los procesos conocidos o en el desarrollo de nuevos procesos químicos. Hacia el final de la década de los noventa, Paul Anastas y John Warner, propusieron el término de *Química Verde* (Anastas y Warner, 1998) en su libro *Green Chemistry: Theory and Practice* para referirse a aquellas tecnologías químicas que ayudan a prevenir la contaminación. Y la definen en relación con la utilización de una serie de principios que reducen o eliminan el uso o la generación de sustancias peligrosas durante el diseño, la fabricación o la aplicación de productos químicos:

1. Es mejor prevenir la formación de residuos que tratar de limpiar tras su formación.
2. Los métodos sintéticos deben ser diseñados para conseguir la máxima incorporación en el producto final de todas las materias usadas en el proceso.
3. Se deben diseñar metodologías sintéticas para el uso y la generación de sustancias con escasa toxicidad humana y ambiental.
4. Se deben diseñar productos químicos que, preservando la eficacia de su función, presenten una toxicidad escasa.
5. Las sustancias auxiliares (disolventes, agentes de separación, etc.) deben resultar innecesarias en lo posible y, cuanto menos deben ser inocuas.
6. Las necesidades energéticas deben ser consideradas en relación a sus impactos ambientales y económicos y minimizadas. Los métodos sintéticos deben ser llevados a término a temperatura y presión ambiente.
7. Las materias de partida deben ser renovables y no extinguidas.
8. La formación innecesaria de derivados (bloqueo de grupos, protección/ desprotección, modificación temporal de procesos físicos/químicos) debe ser evitada.
9. Se deben utilizar reactivos catalíticos (tan selectivos como sea posible).
10. Los productos químicos han de ser diseñados de manera que, al final de su función, no persistan en el ambiente, sino que se fragmenten en productos de degradación inertes.



11. Se deben desarrollar las metodologías analíticas que permitan el monitoreo a tiempo real durante el proceso y el control previo a la formación de sustancias peligrosas.

12. Las sustancias y las formas de su uso en un proceso químico deben ser elegidas de manera que resulte mínima la posibilidad de accidentes.

Desde la publicación de estos principios, el campo de la Química para la Sostenibilidad no ha dejado de desarrollarse con numerosas contribuciones desde las diferentes perspectivas, como se puede comprobar en gran cantidad de publicaciones específicas, Congresos y Jornadas organizadas alrededor de la Química Verde.

Conviene señalar que aunque son muchos los avances que se han realizado en este campo, los pasos que se vienen dando en torno a las posibles aportaciones de la química a la construcción de un futuro sostenible, no son menos importantes los retos pendientes a los que tenemos que dar respuesta, el camino que todavía queda por recorrer: Es necesario seguir investigando e innovando en prevención, seguridad, eficacia, detección, identificación y separación de contaminantes, impulsar las fuentes renovables de materia prima, estudiar las interacciones ambientales en un rango de escalas espacial y temporal amplias, teniendo en cuenta el ciclo de vida completo de los productos... etc.

A continuación se describen algunos de los procesos vinculados a la Química para la Sostenibilidad que se están desarrollando actualmente:

- *Prevención*: Tradicionalmente la investigación y la industria química no se preocupaban demasiado de los residuos que generaban, ya que, cuando se producía un problema, otros investigadores buscaban la solución. La Química Verde intenta precisamente contribuir a que la formación de estos residuos no se dé. En este sentido encontramos la Química a microescala, con la cual se pueden realizar procesos químicos utilizando pequeñas cantidades de reactivos y trabajar con condiciones de reacción menos extremas (presión ambiente, bajas temperaturas) sin perder calidad en los métodos utilizados, contribuyendo a evitar o disminuir la contaminación.
- *Economía atómica*: La relación entre la cantidad de producto deseado y la cantidad de reactivo se expresa con el concepto de economía atómica. Cuando menor sea este valor, menos cantidad de reactivo quedará en los productos no deseados. Uno de los primeros éxitos de la Química Verde aplicando este principio fue la reducción de la cantidad de residuos generados en la obtención industrial del ibuprofeno. Se consiguió desarrollar un proceso de tres etapas (de las seis anteriores) llegando a una economía atómica del 77% (González & Valea, 2009).
- *Reducir el uso de sustancias auxiliares*: Este principio apunta que los procesos químicos utilicen la menor cantidad posible de sustancias auxiliares, disolventes especialmente. Y en el caso que sea necesario utilizarlos que sean el menos contaminante posible. Un ejemplo concreto es la extracción de la cafeína con dióxido de carbono en estado supercrítico, para obtener café descafeinado (Brown, Lemay, & Burdsten, 2004).
- *Disminuir el consumo energético*: Este principio hace referencia a la búsqueda de procesos que puedan realizarse con el menor gasto de energía posible. Un ejemplo es el uso de



procesos catalíticos en destilación del petróleo, en la petroquímica y en la transformación de biomasa en combustible. Además se trabaja en la reactividad química dirigiendo las reacciones hacia la formación de productos deseados y la minimización de los productos secundarios.

- *Utilizar materias primas renovables:* Como ejemplo tenemos la producción de energía a partir de una fuente renovable. Actualmente se está impulsando la generación de biocombustibles con materia prima de origen vegetal, el aprovechamiento de residuos de origen animal para producir biogás, o la producción de biodiesel a partir de algas.
- *Evitar derivatizaciones:* En muchos casos, especialmente en el campo de la Química Orgánica, los procesos para obtener un producto tienen varias etapas. Cuantas más tenga, menor será su economía atómica. Es necesario tener en cuenta que todas las sustancias auxiliares que se utilizan aparecerán después como residuos. Además cada etapa implicará nuevos procedimientos con mayor gasto de energía y mayores riesgos para los operarios. La Química Verde intenta disminuir todos estos aspectos.
- *Desarrollar metodologías analíticas para la monitorización a tiempo real:* Actualmente, en la industria química se analizan todos los residuos que se vierten, es decir, el daño se detecta una vez se ha producido. Lo que pretende la Química Verde apunta a la prevención, para actuar antes que tengan lugar los problemas.

La Química Verde constituye, en definitiva, un reconocimiento de que la química se encuentra en la base de muchos de nuestros problemas ambientales y al mismo tiempo que la debemos y podemos utilizar para encontrar y poner en marcha las soluciones que se requieren para superarlos. La Química Verde, junto a otros campos, ha de contribuir a la Ciencia de la Sostenibilidad. Una nueva área de conocimiento que integra campos diferentes, y por tanto de carácter interdisciplinar, que incorpora a la ciudadanía en la investigación y toma de decisiones (transdisciplinar) y cuyas estrategias deben basarse en una visión amplia, holística, tanto espacial como temporalmente. Una ciencia que tiene el objetivo explícito de contribuir a la transición a la Sostenibilidad, es decir, señalar el camino hacia sociedades sostenibles (Vilches & Gil, 2013).

Teniendo en cuenta todo lo que se ha comentado acerca de la importancia de la Química Verde y su papel para el avance en la transición a la Sostenibilidad, en este trabajo se pretende analizar hasta qué punto se le está prestando atención en la educación en ciencias, la investigación didáctica y, en particular, en la enseñanza de la química, tanto por parte del profesorado como de los materiales y libros utilizados.

Hipótesis que orientan la investigación y su fundamentación teórica

La finalidad de este trabajo, como se ha señalado, se centra en resaltar la importancia de la Química Verde para contribuir a resolver los graves problemas socioambientales a los que se enfrenta la humanidad y, por tanto, la relevancia que tiene su tratamiento en la enseñanza de la Química y la necesidad de su incorporación en la formación del profesorado. Como han puesto de manifiesto diferentes investigaciones, sin embargo, en general desde la Educación en Ciencias no se está prestando una adecuada atención a la situación del mundo (Edwards et al., 2004; Vilches & Gil Pérez, 2009). Por eso dentro de esta línea de Educación para la Sostenibilidad orientamos nuestra investigación partiendo de una primera hipótesis de trabajo: *La educación científica no*



está prestando una atención adecuada a las aportaciones de la Química Verde.

Es decir, a pesar de todo lo que desde hace décadas ha aportado este campo de la Química, pensamos que en las clases de ciencias, y las de Química en particular, no se está prestando atención a las aportaciones de la Química Verde, ni tampoco en los libros de texto, ni en la investigación didáctica.

Teniendo en cuenta que el objetivo principal de esta investigación es contribuir a una mayor atención a la Química Verde en la enseñanza de las ciencias por su papel esencial en la formación de una ciudadanía consciente de la situación de emergencia planetaria y de la urgencia de actuar, y por ser una herramienta útil para mejorar el aprendizaje y las actitudes de los estudiantes hacia la Química, nos planteamos una segunda hipótesis, que se está desarrollando en una segunda fase de la investigación que dará lugar a la Tesis doctoral: *Es posible preparar y poner en práctica materiales que contemplan el papel que la Química Verde está jugando y debería jugar para contribuir a resolver problemas socio-ambientales, ayudando a los estudiantes a mejorar su aprendizaje y sus actitudes hacia la Química.*

La primera hipótesis se fundamenta en diferentes investigaciones en didáctica de las ciencias. En primer lugar, las relativas a la necesidad de proporcionar conocimientos científicos a todos los estudiantes, es decir la importancia de la alfabetización científica de la ciudadanía y las dificultades para que este objetivo se lleve adelante. Como está poniendo de manifiesto la investigación desde hace tiempo, no se está consiguiendo en general interesar a la ciudadanía por la cultura científica, ni se contribuye a mostrar todo lo que esta cultura puede aportar a su formación, independientemente que continúen con estudios científicos o no (AAAS, 1990, 1993; Bybee & DeBoer, 1994; Marco, 2000; Gil Pérez et al., 2005; Solbes & Vilches, 1997).

Del mismo modo, la investigación ha señalado reiteradamente que en general la enseñanza no presta una atención adecuada a las interacciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente en la Enseñanza de las Ciencias, a pesar de la abundante literatura (Martins, 2000; Martins, Paixão, & Marques, 2004; Santos & Auler, 2011; Solbes & Vilches, 1997; Solbes, Vilches, & Gil Pérez, 2001) que muestra la importancia de tener en cuenta estos aspectos relevantes para la educación ciudadana.

De forma convergente con estas carencias, la investigación en el campo de la educación científica ha señalado que no se está prestando atención a la problemática socioambiental, a pesar de los numerosos llamamientos de organismos internacionales y a algunos intentos de atender a estos llamamientos. Así, en un análisis de los artículos aparecidos en revistas como Science Education, International Journal of Science Education, Journal of Research in Science Teaching, Studies in Science Education, Enseñanza de las Ciencias, Aster, etc., se señalaba que eran pocos los trabajos que abordaban la problemática de la situación del mundo y la mayoría de los estudios suelen presentar un marcado carácter puntual y local (Edwards et al., 2004).

Esta falta de atención, bien documentada, a los aspectos mencionados nos hace pensar que la atención al papel de la Química Verde en la situación del mundo tampoco será adecuada, lo que viene a fundamentar la hipótesis anunciada.

Para terminar este apartado, podemos añadir que diferentes investigaciones desde hace tiempo muestran que los alumnos en general tienen poco interés hacia la Química, así como es frecuente observar una imagen negativa de la misma y de su papel en la sociedad. Este problema se encuentra



asociado al hecho del creciente abandono de los estudios científicos por los estudiantes (Matthews, 1991; Solbes & Vilches, 1997; Dunbar, 1999; Gil-Pérez et al., 2005; Rocard, et al., 2007). Estas y otras concepciones que tienen muchos ciudadanos y estudiantes contribuyen a que la imagen de la Química en esta sociedad no sea muy positiva. Pero estamos convencidos que todo esto se puede mejorar y llegar a superar si se realiza un correcto tratamiento de las aportaciones de la Química, y en concreto, de la Química Verde en la sociedad y su papel imprescindible en la construcción de un futuro sostenible.

Metodología

Como ya se ha señalado, se pretende estudiar hasta qué punto la enseñanza de las ciencias está dando la importancia que se merece al papel de la Química Verde y para ello se han diseñado diferentes estrategias e instrumentos que permitan poner a prueba la hipótesis a partir de una serie de consecuencias contrastables. Indicamos a continuación algunos de los instrumentos utilizados y los primeros resultados obtenidos.

Análisis de libros de texto y materiales didácticos

Para estudiar la atención que dan en nuestro país los libros de texto de Química a la Química Verde, se analizan diferentes libros que comprenden los cursos de 3º de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) a 2º de Bachillerato de Física y Química. Para su análisis se ha preparado un cuestionario a modo de red de análisis, diseñado y validado para esta investigación.

Este instrumento (cuadro 1) consta de 7 ítems, para facilitar la recogida de los datos de cada libro analizado. Con los primeros tres ítems se pretende poner de manifiesto si el libro de texto trata el concepto de Química Verde, qué aspectos aparecen y con qué profundidad lo hace. Con los otros ítems se quiere constatar si, una vez los libros incluyen el concepto, realmente el tratamiento que le dan contribuye a la concienciación sobre la necesidad de acciones para avanzar hacia un Desarrollo Sostenible y al papel de la Química Verde en las soluciones.

Cuadro 1. Cuestionario para evaluar material didáctico.

1. Temas en los que aparece la Química Verde
2. ¿Qué aspectos de la Química Verde trata?
3. Aparecen referencias a la Química Verde en:
 - 3.1 Actividades para el alumnado
 - 3.2 Apartado del tema dedicado a la Química Verde
 - 3.3 Comentario
 - 3.4 Pie de foto
 - 3.5 Al final del tema, fuera del tema (actividad complementaria)
 - 3.6 Otros
4. ¿Plantea soluciones desde el ámbito de la Química en general a los problemas socio-ambientales?
5. ¿Propone las contribuciones de la QV como una medida concreta?
6. ¿Plantea cuáles son las causas y repercusiones de los problemas?
7. En concreto ¿favorece la concienciación sobre la necesidad de acciones para resolver los problemas y avanzar hacia a un Desarrollo Sostenible?



Los cuestionarios se aplicaron a 18 libros de texto de Física y Química de ESO hasta 2º de Bachillerato, de diferentes comunidades autónomas españolas, analizándose un total de 195 capítulos. En el análisis se ha encontrado que solo tres de los 195 capítulos plantean soluciones des del ámbito de la Química a los problemas socio-ambientales. En dos de los capítulos se habla de la Química Verde y de su contribución para resolver problemas. Exclusivamente tres de las referencias a la Química Verde tienen en cuenta cuáles son las causas y consecuencias de los problemas a los que tiene que hacer frente la humanidad. Las tres referencias a la Química Verde favorecen la toma de conciencia sobre la necesidad de acciones para resolver los problemas y avanzar hacia un Desarrollo Sostenible. En síntesis, los resultados muestran que solamente un 1,9% de los capítulos analizados de Secundaria y un 1,1% de los de Bachillerato hacen alguna referencia a la Química Verde, entre ellas, mencionan la Química Sostenible, introducen el concepto de Química Verde y los principios en que se basa. Aun así el tratamiento que se le da en estos pocos capítulos es, en general, muy superficial.

Es necesario mencionar que al ir realizando el análisis se han encontrado muchas ocasiones donde se podía haber tratado la Química Verde por su vinculación directa con los contenidos, incluso se han detectado referencias relacionadas con algunos de sus principios sin citarla, como desconociendo la existencia de este campo de la Química tan relevante en la actualidad. En resumen, la mayoría de la muestra de los libros de texto analizados no presta atención a la Química Verde, dando soporte a nuestra hipótesis.

Análisis de revistas de investigación e innovación didáctica

El conjunto de revistas seleccionado para el análisis está formado por algunas de las más utilizadas en investigación e innovación en Didáctica de las Ciencias en España como son: *Alambique*, *Educació Química*, *Eureka*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (REEC)* y *Enseñanza de las Ciencias*. Así mismo y separadamente también se analizó la revista específica mexicana de Enseñanza de la Química, *Educación Química*, y por último una no educativa, *Química e Industria* (con una sección dedicada a la enseñanza de la química) con la finalidad de ver hasta qué punto prestan atención a la Química Verde.

Se analizaron artículos publicados entre los años 2005-2013 con el fin de encontrar las aportaciones sobre Química Verde en el campo de la didáctica, en el periodo de la Década de la Educación por un Futuro Sostenible. El número total de artículos analizados del conjunto de revistas de didáctica españolas ha sido de 1386 y se ha detectado que de ellos solo ocho artículos hacen referencia al concepto de Química Verde, lo que representa un 0,58% de los analizados.

Por otra parte, se analizaron también los artículos publicados en la revista española *Química e Industria (QEI)* de la Asociación Nacional de Químicos de España y del Consejo General de Colegios Oficiales de Químicos, que tiene una sección dedicada a "Química y Educación" para conocer hasta qué punto se presta atención a la Química para la Sostenibilidad desde este ámbito. En este caso, de los 149 artículos analizados desde 2005 hasta 2013, se han encontrado solo tres artículos que hacen referencia al concepto de Química Verde, que representa un 2.01% de los artículos analizados en esta revista.

Estos resultados son convergentes con la hipótesis de trabajo y ponen de manifiesto la atención insuficiente que la educación y, en particular, la investigación en el campo de la educación científica



están dando a la Química Verde como herramienta para contribuir a la formación ciudadana.

Por otra parte, como ejemplo de “buenas prácticas” se ha analizado también una revista de carácter internacional de investigación específica en el campo de la enseñanza de la Química como ejemplo de publicación que está prestando atención a la Química Verde. En este caso, de los 436 artículos analizados en la revista *Educación Química* se han encontrado veinte artículos que hacen referencia y tratan con detenimiento el concepto de Química Verde en la educación científica, lo que representa un 4.59% de los artículos analizados en esta revista. Este resultado pone de manifiesto la importancia dada a la Química Verde en la investigación en el campo de la Química, en este caso específico de una revista de amplia utilización en el mundo iberoamericano.

Cuestionarios y entrevistas a docentes

Para completar los instrumentos utilizados para detectar la atención prestada en la enseñanza a la Química Verde, se elaboraron cuestionarios (cuadro 2) para docentes en formación y entrevistas a profesores en activo. Con ello se pretende analizar si conocen el concepto de Química Verde y sus aportaciones. Además, interesa saber de dónde procede este conocimiento, la importancia que le dan dentro del currículum de Química y, el caso de los profesores en activo, conocer cómo incorporan el tratamiento de la Química Verde en sus calases.

Cuadro 2. Cuestionario para docentes en formación.

1. ¿Conoce el concepto de Química Verde? Explíquelo.
2. ¿De dónde procede ese conocimiento?
3. ¿Qué aportaciones conoce en este campo de la Química?
4. ¿Piensa que se le ha de prestar atención en el currículum de Química? ¿Por qué?

El cuestionario se utilizó con 21 estudiantes del máster en Profesorado de Secundaria, de la especialidad de Física y Química, antes de haber abordado el tema dedicado a la Educación por la Sostenibilidad, donde esta problemática se trata. Con una aplicación rigurosa de los criterios, en realidad ninguna de las respuestas se podría considerar correcta, ya que en ningún momento se hace referencia a que trate de un campo específico de la Química ni se conocen los principios en que se basa. En un 14,9% de las respuestas hay alguna referencia superficial o indirecta a algunos de los principios y, en los casos donde responden que no conocen el concepto (85.7%) lo intentan describir de forma etimológica, de manera similar a los que han dicho que sí que lo conocían. Un 19,05% señala que conoce el concepto de Química Verde a través de los estudios universitarios cursados, aunque en ningún caso muestran realmente un conocimiento de dicho campo. Un 4.76% indica que conoce el concepto a través de los medios de comunicación, en concreto la prensa, mientras que un 79.19% no han respondido esta pregunta. Respecto al tercer ítem, solo tres personas (14.29%) de las 21 conocen alguna de las aportaciones que se están haciendo en este campo de la Química, entre ellas, citan evitar derivatizaciones y sustancias peligrosas y la utilización de catalizadores. Por último, es importante señalar que ante la pregunta de si consideran la Química Verde un tema importante dentro del currículum, dos tercios de los profesores en formación piensan que se debería prestar más atención a la Química Verde dentro del currículum de Química justificando su interés.



Respecto a las entrevistas, se seleccionaron en esta primera fase de la investigación cinco docentes, tres profesores de Física y Química de Secundaria y dos profesores del departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la UVEG, uno de ellos con más de 20 años de experiencia docente previa en secundaria. Se trata de una muestra pequeña a modo de ensayo piloto, que se ha ampliado en la segunda fase de la investigación que se desarrolla en la actualidad. Tres de los cinco profesores entrevistados afirman conocer el concepto de Química Verde mientras que los otros señalan que no lo conocen aunque indican que pueden suponer en qué consiste. Ninguna respuesta se podría considerar en realidad correcta, ya que en ningún caso se hace referencia a que trate de un campo específico dentro de la Química ni se conocen los principios en que se basa. Cuando se les pregunta, a los profesores que afirman conocer el concepto, de dónde procede ese conocimiento responden que en congresos y cursos que han realizado. En cuanto a las aportaciones que se están realizando desde este campo de la química nombran la Química a Microescala y el secuestro de metales pesados en la naturaleza. De estos tres profesores solo uno afirma haber tratado de manera transversal el concepto de Química Verde en sus clases pero muy pocas veces. Finalmente se les pregunta si creen que debería estar incluido en el currículum de Química y todo responden que s  por considerar que contribuiría a mejorar la visión de los estudiantes hacia la Química.

Conclusiones y perspectivas de futuro

En definitiva, estos primeros resultados refuerzan nuestras conjeturas iniciales, alrededor de que la atención prestada por la educación científica a las aportaciones de la Química Verde es, en general, escasa. Así, tanto los resultados del análisis de libros de texto realizado hasta el momento en la primera fase de investigación como el de las revistas de Educación en Ciencias parecen indicar que, en general, no est n prestando la atención suficiente desde el campo educativo a las aportaciones de la Química Verde y a su papel para avanzar en la transición a la Sostenibilidad. Del mismo modo y convergiendo con los resultados anteriores, los docentes en formación y en activo desconocen en general este campo de la Química y sus aportaciones y es lógico pensar que no las incorporarán en las clases de ciencias.

Como ya se ha señalado anteriormente, el objetivo de esta investigación no está centrado únicamente en el análisis de la situación señalando sus posibles deficiencias y limitaciones, sino que se pretende, a partir del estudio realizado, con el diseño y puesta a prueba de medidas de intervención para estudiantes y docentes en formación, contribuir a hacer que la Química para la Sostenibilidad y sus aportaciones sean una herramienta eficaz para mejorar las percepciones del alumnado y profesorado en formación en torno a la situación del mundo y a las medidas que se requieren adoptar. Favoreciendo así su implicación para incorporar la Química Verde como una componente esencial de la nueva Ciencia de la Sostenibilidad (Vilches & Gil Pérez, 2013) en las clases de ciencias, y contribuyendo a la formación de una ciudadanía consciente de la situación de emergencia planetaria y preparada para participar en la toma de decisiones fundamentadas y dirigidas a la construcción de un presente y un futuro sostenibles.

En este artículo se han mostrado la fundamentación y algunos primeros resultados de la primera fase de la investigación que constituye el Trabajo Fin de Máster, realizado en el Máster en Investigación en



Didácticas Específicas de la Universidad de Valencia, en la especialidad de Ciencias Experimentales. Una primera fase de una investigación que continúa desarrollándose en la actualidad en una Tesis Doctoral en la que se pretende:

- Profundizar en el análisis de esta primera parte del trabajo, ampliando la muestra de revistas analizadas (nacionales e internacionales) y material didáctico, así como el número de docentes y profesorado en formación entrevistado, lo que permitirá exponer con mayor fiabilidad las conclusiones globales que muestran las deficiencias encontradas, o las posibles aportaciones de interés para, en su caso, utilizarlas como propuestas de mejora.
- Realizar entrevistas a docentes y expertos en el campo de la Química Verde
- Y, principalmente, a partir de este análisis en profundidad, diseñar, llevar a cabo y evaluar propuestas de intervención y materiales didácticos para dar a conocer la Química Verde y sus aportaciones y contribuir a su inclusión en la enseñanza de las ciencias. Todo ello pensamos que, además de mostrar una visión más adecuada de la química y su papel para resolver los problemas socio-ambientales, contribuirá a mejorar el aprendizaje de los estudiantes y sus actitudes hacia la Química.

Referencias

- AAAS (1990). *Science for all americans. A project 2061 report on literacy goals in Science, Mathematics, and Technology*. New York: Oxford University Press.
- AAAS (1993). *Benchmarks for Science Literacy: A project 2061 report*. New York: Oxford University Press.
- Anastas, P., & Warner, J. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press: New York.
- Año Internacional de la Química, 2011. (n. d.). Consultado en 2 de junio, en www.un.org/es/events/chemistry2011/background.shtml
- Broszimmer, F. J. (2005). *Ecocidio. Breve historia de la extinción en masa de las especies*. Pamplona: Laetoli.
- Brown, L. R. (2004). *Salvar el planeta. Plan B: ecología para un mundo en peligro*. Barcelona: Paidós.
- Brown, T., LeMay, H., & Bursten, B. (2004). *Química, La ciencia central* (novena edición en español). México: Prentice Hall México.
- Bybee, R. (1991). Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond? *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153.
- Bybee, R., & Deboer, G. (1994). Research on goals for the science curriculum, en Gabel, D.L. *Handbook of Research en Science Teaching and Learning*. New York: McMillan P.C.
- Chemistry 2011.ORG. (n. d.). Consultado en 2 de junio, en www.chemistry2011.org
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988). *CMMAD. Nuestro Futuro Común*.



Madrid: Alianza.

Delibes, M., & Delibes de Castro, M. (2005). *La Tierra herida. ¿Qué mundo heredarán nuestros hijos?* Barcelona: Destino.

Duarte, C. (Coord.) (2006). *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. CSIC.

Dunbar, R. (1999). *El miedo a la ciencia*. Madrid, Alianza.

Edwards, M., Gil Pérez, D., Vilches, A., & Praia, J. (2004). La atención a la situación del mundo en la educación científica. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(1), 47-63.

Folch, R. (1998). *Ambiente, emoción y ética*. Barcelona: Ed. Ariel.

Garritz, A. (2011). La celebración del año internacional de la química: Las contribuciones de la Química al bienestar de la humanidad. *Educación Química*, 22(1), 2-7.

Gil-Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P., & Vilches, A. (Eds.). (2005) *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago de Chile: OREALC/ UNESCO.

Global Symposium 2011. (n. d.). Consultado en 2 de junio, en <http://globalsymposium2011.org/es>

González, M. L., & Valea, A. (2009). El compromiso de enseñar química con criterios de sostenibilidad: la Química Verde. *Educación Química*, 20(2), 48-52.

International Council for Science. (n. d.). Consultado en 2 de junio, en www.icsu.org/future-earth

Lewin, R. (1997). *La sexta extinción*. Barcelona: Tusquets Editores.

Lubchenco, J. (1998). Entering the century of the environment: A new social contract for science. *Science*, 279, 491-497.

Marco, B. (2000). La alfabetización científica. In F. Perales, & P. Cañal (Dir.), *Didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 141-164). Alcoi: Marfil.

Martins, I. (Coord.) (2000). *O Movimento CTS na Península Ibérica*. Aveiro: Universidade de Aveiro.

Martins, I., Paixão, F., & Marques Vieira, R. (Eds.) (2004). *Perspectivas Ciência-Tecnologia-Sociedade na Inovação da Educação em Ciências*. Aveiro: Universidade de Aveiro.

Matthews, M. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las Ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, 141-155.

Naciones Unidas (1992). *Conference on Environment and Development, Agenda 21 Rio Declaration, Forest Principles*. Paris: UNESCO.

Programa de acción global: un compromiso renovado por la Educación para la Sostenibilidad. (s. d.). Consultado en 2 de junio, en www.oei.es/decada

Rocard, M., Csemerly, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. European Commission. Community Research.



- Sánchez Ron, M. (1994). *¿El conocimiento científico prenda de felicidad?* In: J. Nadal (Ed.), *El mundo que viene* (pp. 221-246). Madrid: Alianza.
- Santos, W., & Auler, D. (Orgs.) (2011). *CTS e Educação científica, desafio, tendências e resultados de pesquisa*. Brasília: Editora Universidade de Brasília (UdB).
- Solbes, J., & Vilches, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.
- Solbes, J., Vilches, A., & Gil Pérez, D. (2001). El enfoque CTS y la formación del profesorado. In P. Membiela (Ed.), *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad* (pp. 163-175). Madrid: Narcea.
- Tuxill, J., & Bright, C. (1998). *La red de la vida se desgarrar*. In The World Watch Institute (Ed.), *La situación del mundo* (pp. 89-118). Barcelona: Icaria.
- Vilches, A., & Gil Pérez, D. (2003) *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.
- Vilches, A., & Gil Pérez, D. (2009). Una situación de emergencia planetaria a la que debemos y podemos hacer frente. *Revista de Educación*, (número extraordinario), 101-122.
- Vilches, A., & Gil Pérez, D. (2011). Papel de la Química y su enseñanza en la construcción de un futuro sostenible (Extraordinario de 2011 dedicado al "Año Internacional de la Química"). *Educación Química*, 22(2), 103-11.
- Vilches, A., & Gil Pérez, D. (2013). Ciencia de la Sostenibilidad: Un nuevo campo de conocimientos al que la Química y la Educación Química están contribuyendo. *Educación Química*, 24(2), 199-206.
- Vilches, A., Macías, O., & Gil-Pérez, D. (2014). *La transición a la Sostenibilidad. Un desafío urgente para la ciencia, la educación y la acción ciudadana. Temas clave de reflexión y acción*. Madrid: OEI.
- Worldwatch Institute (1984-2016). *The State of the World*. New York: W.W. Norton.