



Química Verde y Sostenibilidad en la educación en ciencias en secundaria

Green Chemistry and Sustainability in Science Education in Secondary Schools

Laura Mascarell Borreda

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universitat de València
masbolau@alumni.uv.es

Amparo Vilches Peña

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universitat de València
amparo.vilches@uv.es

RESUMEN • Este trabajo se plantea estudiar el papel de la Química Verde en la educación científica para contribuir, desde ese campo, a la Ciencia de la Sostenibilidad y, por tanto, a la transición hacia sociedades sostenibles. Se mostrarán unos primeros resultados de una investigación llevada a cabo sobre la atención que la enseñanza secundaria y la propia investigación en el campo de la didáctica de las ciencias están prestando a las aportaciones de la Química Verde, y la posibilidad de su incorporación en la formación de la ciudadanía y la adopción de medidas necesarias para contribuir a la construcción de un futuro sostenible. Se pretende así responder a los numerosos llamamientos para que la educación, toda la educación y muy en particular la enseñanza de las ciencias, preste atención a los problemas y desafíos que afectan a la humanidad, contribuyendo a la búsqueda de soluciones y a la formación de una ciudadanía responsable y preparada para la toma de decisiones.

PALABRAS CLAVE: química verde; sostenibilidad; educación científica; ciencia de la sostenibilidad; interacciones CTSA.

ABSTRACT • This paper proposes to study the role of Green Chemistry in Science Education, to contribute with Sustainability Science and therefore the transition to sustainable societies. For this purpose it will show the results of the analysis carried out about the teaching and the research attention to the contributions of Green Chemistry and the possibility to incorporate it in the formation of the citizenship and the adoption of measures to build a sustainable future. The aim of this investigation is to respond to numerous experts and global institutions calls for education, all education including Chemistry Education, paying attention to the problems and challenges facing humanity, contributing to find solutions and training of responsible and prepared for decision-making citizenship.

KEYWORDS: green chemistry; sustainability; science education; sustainability science; STSE relationships.

Recepción: febrero 2015 • Aceptación: febrero 2016 • Publicación: junio 2016

Mascarell Borreda, L., Vilches Peña, A., (2016) Química Verde y Sostenibilidad en la educación en ciencias en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 34.2, pp. 25-42

INTRODUCCIÓN

Según han mostrado numerosos estudios científicos convergentes, nos enfrentamos en la actualidad a una situación marcada por toda una serie de graves problemas socio-ambientales estrechamente relacionados (contaminación y degradación de los ecosistemas, agotamiento de los recursos, desigualdades crecientes, etc.). Una situación de auténtica emergencia planetaria (Bybee, 1991) que plantea un desafío para poder hacer posible incluso la continuidad de la especie humana (Worldwatch Institute, 1984-2016; Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988; Naciones Unidas, 1992; Gil Pérez *et al.*, 2003; Edwards *et al.*, 2004; Duarte, 2006; Vilches y Gil-Pérez, 2009).

Este hecho ha dado lugar a numerosos llamamientos de especialistas y de organismos internacionales (Worldwatch Institute, 1984-2016; Bybee, 1991; Naciones Unidas, 1992; Orr, 1995; Mayor Zaragoza, 2000) y, en particular, a la celebración de las llamadas Cumbres de la Tierra en Río de Janeiro, en 1992, en Johannesburgo diez años después, y en 2012, la denominada Río + 20. En ellas 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.

No obstante, los numerosos llamamientos no obtuvieron una respuesta adecuada, y por ello la Segunda Cumbre de la Tierra (Johannesburgo, 2002) impulsó la idea de realizar una campaña intensa y de larga duración con el propósito de conseguir la implicación de los educadores de las diferentes áreas y niveles, en la formación de una ciudadanía consciente de la gravedad de la situación y capaz de actuar contribuyendo a las medidas necesarias para avanzar hacia la Sostenibilidad. Así, en el 2005 Naciones Unidas instituyó la «Década de la Educación por un Futuro Sostenible» (2005-2014). Una importante iniciativa que ha dejado un balance muy positivo, con avances en los diferentes ámbitos y niveles educativos, incluyendo la formación del profesorado, como muestra el gran número de publicaciones, investigaciones, congresos y jornadas llevados a cabo en el campo de la educación para la Sostenibilidad, así como la incorporación de una mayor atención curricular, de materias relacionadas, de másteres específicos, revistas especializadas, etc.

En noviembre del 2014, año en que finalizó la Década, tuvo lugar en Aichi (Nagoya, Japón) la Conferencia Mundial sobre Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS), cuyos fines fueron, además de hacer un balance de lo conseguido en la Década, aprobar un Programa de Acción Mundial para dar continuidad a los objetivos de la EDS. Como señalaba esos días la directora general de Unesco Irina Bokova: «Para lograr el Desarrollo Sostenible, no bastan la tecnología, los reglamentos y los incentivos financieros. Debemos modificar también nuestro modo de pensar y de actuar como individuos y como sociedad, y ese es precisamente el objetivo de la educación para el Desarrollo Sostenible».

Es necesario insistir en la urgencia de reorientar la forma de relacionarnos entre nosotros y con el resto de la naturaleza, para poner las bases de un *presente* sostenible y satisfactorio para el conjunto de los seres humanos, y la necesidad de impulsarlo desde la educación y, en particular, la enseñanza de las ciencias. En ello ha de basarse la superación fundamentada de crisis sistémicas planetarias como la que estamos viviendo, evitando su reproducción y agravamiento. Y a ello ha de contribuir la educación.

Porque tal como muestran investigaciones recientes, a pesar de todos estos esfuerzos y llamamientos citados y los numerosos estudios que alertan del incremento de la gravedad de la situación, seguimos sin prestar la atención necesaria a la problemática global socioambiental a la que se enfrenta la humanidad. De forma convergente, podemos recordar llamamientos realizados en particular a la propia comunidad científica. Así, a finales de la década de los noventa del siglo XX, Jane Lubchenco, como presidenta de la más importante asociación científica, tanto por el número de miembros como por la cantidad de premios Nobel y científicos de alto nivel que forman parte de esta, la American Association for the Advancement of Science (AAAS), reclamaba que el siglo XXI fuera, para la ciencia, *para*

todas las ciencias, el siglo del medio ambiente y que la comunidad científica «reorientara su maquinaria» hacia la resolución de los problemas que amenazan el futuro de la humanidad (Lubchenco, 1998). Más recientemente, en mayo del 2011, en el Memorando de Estocolmo promovido por la ONU, «Inclinando la balanza hacia la Sostenibilidad», los más de cincuenta premios Nobel de las diferentes disciplinas firmantes conminan a una urgente transición a la Sostenibilidad reclamando, entre otras acciones en el campo político y educativo, 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. El documento termina con estas palabras: «Somos la primera generación consciente del nuevo riesgo global que enfrenta la humanidad, por lo que recae sobre nosotros cambiar nuestra relación con el planeta para asegurar que dejaremos un mundo sostenible a las futuras generaciones».

Desde el campo de la química en particular, podemos referirnos, entre otras acciones, a la proclamación, por la Asamblea General de la ONU, del 2011 como Año Internacional de la Química para concienciar al público sobre sus contribuciones al bienestar de la humanidad. El director general de la Unesco, Koïchiro Matsuura, encomió la decisión de la Asamblea General y señaló que es indudable que la química ejercerá un papel muy importante en el desarrollo de fuentes de energías alternativas y la alimentación de la creciente población mundial. Por ese motivo, durante el año 2011 se impulsaron y celebraron actividades en todo el mundo con el fin de resaltar la importancia de la química en la solución de los problemas que afectan a la humanidad. Es evidente que este tipo de convocatorias contribuyen a reflexionar sobre los problemas, sus causas y las medidas que se deben adoptar en torno a la situación del mundo, y todo aquello que podemos hacer y hemos de hacer cada uno de nosotros y, en particular, el papel que puede jugar la química en las soluciones. Según Jung-Il Jin, presidente de la IUPAC en aquella fecha (www.iupac.org/), la celebración del Año Internacional de la Química esperaba aumentar la apreciación pública y la comprensión de la química, aumentar el interés de los jóvenes por la ciencia y generar entusiasmo por un futuro de creatividad relacionada con la química (www.portal.unesco.org/es/).

Con ello se pretendía hacer comprender la relevancia de la química en nuestras sociedades, en particular en el desafío al que nos enfrentamos: la construcción de un futuro sostenible en el que la química debe desempeñar un importante papel. Por tanto abordar esta problemática en las clases de ciencias, y muy en particular en la formación del profesorado, contribuirá a mostrar una imagen más real, más contextualizada de la química y, al mismo tiempo, a superar algunas reticencias e incomprensiones hacia el papel y la responsabilidad de la química frente a los problemas del planeta, favoreciendo así el interés de los jóvenes hacia la esta y su estudio (Garritz, 2011; Vilches y Gil Pérez, 2011).

Teniendo en cuenta todo lo que se ha venido señalando, desde el campo de la enseñanza de las ciencias esta investigación pretende dar respuesta, entre otras, a preguntas como:

- Dada la importancia de la química para la Sostenibilidad o Química Verde ¿hasta qué punto se le presta atención en la enseñanza de las ciencias y de la Química en particular?
- ¿Conoce el profesorado lo que se está haciendo en este campo?
- ¿Qué piensan los y las estudiantes sobre el papel de la química en la sociedad y el medioambiente? ¿Saben lo que estudia y supone la Química Verde?
- ¿Qué referencias aparecen en los libros de texto a este campo de la química?
- ¿Qué atención se le está dando en la investigación en didáctica de las ciencias?

La respuesta a estas y otras preguntas permitirá después analizar los ejemplos de buenas prácticas y diseñar materiales que contribuyan, desde la educación en ciencias, a la formación de una ciudadanía responsable y a mejorar las actitudes y el interés hacia el estudio de las ciencias y de la química en particular. Nos centraremos, a continuación, en resaltar la importancia de este campo reciente de la química para el desarrollo Sostenible.

IMPORTANCIA DE LA QUÍMICA VERDE

En respuesta a los diferentes llamamientos citados, como docentes e investigadores, tenemos que aprovechar las numerosas ocasiones que nos proporciona la enseñanza de las Ciencias para la formación de una ciudadanía que contribuya a la transición a la Sostenibilidad.

Como es sabido, las ciencias y la química en particular han formado y forman parte de nuestras vidas. Muchos de los avances que han posibilitado nuestro desarrollo como especie y la mejora de nuestra calidad de vida son o están relacionados con procesos químicos que hemos comprendido y desarrollado para aprovecharlos (el fuego, la cocción de los alimentos, la fermentación del queso y el pan, la obtención de metales, la potabilización del agua, etc.). La química participa en cada una de las etapas de obtención de un determinado producto o material, empezando por el diseño y terminando en la fase en la que el producto es adquirido por el consumidor.

Pero, al mismo tiempo que se ha producido este desarrollo, no podemos olvidar que vinculado a este se registra un aumento de consumo de materiales y energía, así como residuos, muchos de ellos contaminantes, que son perjudiciales tanto para el medioambiente como para nosotros mismos, que formamos parte de él. Efectos que no hemos conocido ni estudiado hasta hace solo unas décadas, como por ejemplo los relacionados con los contaminantes orgánicos persistentes, el incremento de los gases de efecto invernadero, o el problema de la capa de ozono, entre muchos otros.

Frente a esta problemática, y en respuesta a los numerosos llamamientos anteriormente citados, los científicos y las científicas empiezan a asumir su responsabilidad tanto por las consecuencias de algunos desarrollos tecno-científicos, como por la necesidad y urgencia de contribuir a la solución de los problemas que afectan a la humanidad, iniciando su implicación en diferentes investigaciones para contribuir a la protección del medio y de la vida de los seres humanos, así como incrementar la sensibilización y concienciación ciudadana desde la propia ciencia.

Una implicación creciente que, en el caso de la química, ya está siendo plasmada en el campo denominado *Química Verde* o *sostenible* (Garritz, 2009 y 2011; Doria, 2009), sin olvidar las aportaciones de sus antecedentes a la química ambiental y los desarrollados en la química atmosférica. En esencia, todos impulsan desarrollos en el campo de la Química coherentes con las necesarias medidas científico-tecnológicas para la transición hacia la Sostenibilidad.

La química sostenible (*Green Chemistry*) supone un cambio fundamental en la forma en que la ciencia plantea el diseño químico y la síntesis de las sustancias: significa el diseño, desarrollo y aplicación de productos y procesos químicos para la reducción o eliminación del uso y generación de sustancias peligrosas para la salud humana y para el medioambiente. La química sostenible, de la que merece la pena destacar su carácter preventivo, ya que pretende evitar los problemas antes de que ocurran, se basa en doce principios formulados originalmente a finales de los años noventa del pasado siglo por Paul Anastas y John Warner (1998) en su libro *Green Chemistry: Theory and Practice*. En síntesis, los doce principios de la Química Verde son:

1. Evitar los residuos (insumos no empleados, fluidos reactivos gastados).
2. Maximizar la incorporación de todos los materiales del proceso en el producto acabado.
3. Usar y generar sustancias que posean poca o ninguna toxicidad.
4. Preservar la eficacia funcional mientras se reduce la toxicidad.
5. Minimizar las sustancias auxiliares (por ejemplo disolventes, agentes de separación).
6. Minimizar los insumos de energía (procesos a presión y temperatura ambiental).
7. Preferir materiales renovables frente a los no renovables.
8. Evitar derivaciones innecesarias (por ejemplo grupos de bloqueo, pasos de protección y desprotección).
9. Preferir reactivos catalíticos frente reactivos estequiométricos.

10. Diseñar los productos para su descomposición natural tras el uso.
11. Vigilancia y control «desde dentro del proceso» para evitar la formación de sustancias peligrosas
12. Seleccionar los procesos y las sustancias para minimizar el potencial de siniestralidad.

Las aportaciones que se están desarrollando en este campo de la química han adquirido una importancia creciente en las últimas décadas (Garritz, 2009; Vilches y Gil, 2011 y 2013), sin olvidarnos de los antecedentes de la denominada *química ambiental*.

Podemos referirnos, en el caso iberoamericano, a publicaciones recientes en diferentes ámbitos que resaltan la importancia de este campo de la química, a centros de investigación que lo desarrollan (como el Instituto de Tecnología Química, de la UPV <http://itq.upv-csic.es>, entre otros) así como a jornadas y congresos que en ese mismo campo se han ido desarrollando en los últimos años: Jornadas Españolas de Química Sostenible, vinculadas a la Green Chemistry Conference; IV Congreso Internacional de Química de ANQUE, sobre química y Desarrollo Sostenible, Tenerife, 2006, www.quimicaysociedad.org/; Taller Latinoamericano de Química Verde, México, 2008, www.icq.uia.mx/webicq/eventos.htm; VIII Green Chemistry Conference, Zaragoza, 2009, www.8gcc.unizar.es/Committees.html; en el marco del Año Internacional de la Química, en el campo de la industria química, las II Jornadas de «Química Sostenible», Barcelona 2011, Throuth Green Chemistry, Barcelona 5-7 de noviembre del 2013; IV International Congress on Green Process Engineering, Sevilla, 7-10 de abril del 2014, etc.

La importancia creciente dada a este campo de la química, en el ámbito de la educación, lo podemos constatar, entre otros, por la publicación en el 2013 de un número especial de la revista mexicana *Educación Química*, centrado en la Química Verde, campo al que ya dedicó varios trabajos en el número 4 del 2009, o al monográfico del 2014 que la revista de la Societat Catalana de Química, *Educació Química*, ha dedicado a la química para la Sostenibilidad. En estos monográficos se pretende difundir al público, estudiantes y docentes, cuáles son sus principios, avances y retos en la actualidad y mostrar su importancia y la necesidad de su impulso en el campo de la educación y en particular en la enseñanza de las ciencias.

En los últimos años, también es creciente el número de cursos y estudios de posgrado ofertados sobre Química Verde por diferentes universidades (De la Hoz, 2009). Es numerosísima la oferta a nivel mundial, como puede verse en la Red Internacional de Química Verde, y asimismo en el ámbito Iberoamericano. En estos cursos se pretende que los estudiantes adquieran los conocimientos básicos de los principios de la química sostenible y de su aplicación en los procesos químicos industriales, que conozcan las herramientas y las áreas generales de trabajo de la química sostenible y puedan comprender y valorar adecuadamente procesos industriales en los que se cumplen sus principios. Un ejemplo de esto lo podemos encontrar en el Máster de Química Sostenible ofrecido por la Universidad de Valencia junto con otras universidades, como la Universidad Jaume I de Castellón, la Universidad Politécnica de Valencia, la Universidad de Extremadura y la Universidad de Castilla la Mancha. El programa está impulsado por la Red Española de Química Sostenible y recibe el soporte de la Plataforma Tecnológica de Química Sostenible. Del mismo modo, se oferta vinculado el Máster Universitario en Química Sostenible de la Universidad Pública de Navarra.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS QUE LA ORIENTAN

A pesar del reconocimiento de sus avances, la gran cantidad de publicaciones, encuentros, conferencias, etc., que están teniendo lugar en torno a la Química Verde (véase, por ejemplo, la Red de Química Sostenible de la Royal Society of Chemistry, www.rsc.org/chemsoc/gcn/; Green Chemistry Network, www.greenchemistry.ca/, etc.), su contribución a la Sostenibilidad y su importante papel en la ense-

ñanza y en la alfabetización científica de la ciudadanía, como se ha señalado en el apartado anterior, la hipótesis que orienta la investigación es que la educación en ciencias en nuestro país le está prestando todavía una escasa atención.

La investigación que se presenta pretende profundizar en la importancia de la Química Verde para contribuir a resolver los problemas que afectan a la humanidad y, por tanto, la relevancia de su tratamiento en la enseñanza de las ciencias. Dentro de la línea de educación para la Sostenibilidad, en la que se enmarca esta contribución, la investigación parte de la hipótesis de que la educación científica no está prestando hasta el momento la atención adecuada a las aportaciones de la Química Verde. Sin embargo, pensamos, y esto constituye la segunda hipótesis que orienta la investigación, que será puesta a prueba posteriormente: es posible preparar y poner en práctica materiales que contemplen el papel que la Química Verde está jugando y habría de jugar para contribuir a resolver problemas socioambientales, ayudando al mismo tiempo a los estudiantes a mejorar el aprendizaje y sus actitudes hacia la ciencia y la química en particular.

La primera hipótesis, en cuya puesta a prueba se centra este artículo, se fundamenta en resultados convergentes obtenidos hasta ahora en la investigación en didáctica de las ciencias, a los que brevemente nos referiremos a continuación.

La necesidad de proporcionar conocimientos científicos a todas las personas convierte la educación científica en una parte esencial de la educación general. Sin embargo, tal como ha puesto de manifiesto la investigación en didáctica de las ciencias, la educación científica está encontrando numerosas dificultades, como muestran los elevados índices de fracaso y la falta de interés o, incluso en ocasiones, el rechazo hacia los estudios científicos, y en particular hacia la Química, lo que está obstaculizando la alfabetización científica del conjunto de la ciudadanía (Bybee y DeBoer, 1994; Bybee, 1997; Solbes y Vilches, 1997; Dunbar, 1999; Marco, 2000 y 2004; Gil y Vilches, 2004) y está afectando también a la formación de los científicos y tecnólogos del futuro, ya que este fracaso en lograr una alfabetización científica de la ciudadanía se traduce en la falta de personas candidatas para proseguir estudios científicos en las etapas no obligatorias (OCDE, 2006; Rocard *et al.*, 2007). Una alfabetización científica que se impone como una dimensión esencial de la cultura ciudadana, necesaria para contribuir a la formación de personas responsables preparadas para la participación en la toma de decisiones, lo que supone entre otras cosas una garantía de aplicación del principio de precaución que se apoya en una creciente sensibilidad social frente a las implicaciones del desarrollo tecno-científico que puedan comportar riesgos para las personas o el medioambiente.

Vinculado con lo anterior, otro de los aspectos que refuerzan la hipótesis es la escasa atención prestada, en general, a las relaciones CTSA en la educación en ciencias a pesar de la abundante literatura existente que muestra su importancia, del creciente interés que viene recibiendo en la investigación educativa, así como de los numerosos llamamientos de la comunidad científica y de organismos internacionales (Martins, 2000; Martins *et al.*, 2004; Santos y Auler, 2011). Sin embargo, la recuperación de aspectos históricos y de la relación entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA), sin dejar de lado los problemas que han jugado un papel central en el cuestionamiento de dogmatismos y en la defensa de la libertad de investigación y pensamiento, pueden contribuir a devolver al aprendizaje de las ciencias la vitalidad y relevancia del propio desarrollo científico. Este hecho lleva a pensar que si la enseñanza, en general, no presta una atención adecuada a estos aspectos de la educación ciudadana tampoco lo hará a los avances y el papel de la Química Verde.

La atención a la situación de emergencia planetaria y las medidas que se deben adoptar es otra de las problemáticas a las que la educación científica no está prestando todavía la suficiente atención, a pesar de los numerosos llamamientos de los organismos internacionales citados. Análisis realizados de artículos aparecidos en revistas como *Science Education*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Studies in Science Education*, *Aster*, etc., muestran que son pocos los trabajos que abordan la problemática de

la situación del mundo, y la mayoría de los estudios tienen un marcado carácter puntual y local (Gil *et al.*, 2003; Edwards *et al.*, 2005; Vilches y Gil, 2009). Asimismo, distintas investigaciones coinciden en resaltar la necesidad de una mayor atención a la Sostenibilidad en los diferentes niveles educativos, incluido el universitario (Vilches y Gil, 2009; Aznar *et al.*, 2011; Ull *et al.*, 2014).

Por último, la investigación muestra que existen visiones tóxicas y deformadas de la química que provocan el desinterés entre el alumnado como, por ejemplo, (Tippins, Nichols y Kemp, 1999; Chamizo, 2011; Garritz, 2011):

- hablar de química hace pensar en productos peligrosos;
- se piensa en la química como causante de muchos desastres ambientales;
- la química se ve como la responsable de la contaminación del medioambiente: los residuos tóxicos de las industrias químicas, los gases tóxicos producidos por las industrias, la contaminación de los suelos por la industria agropecuaria, etc., y
- la química se considera responsable de la fabricación de armas de destrucción masiva: bombas atómicas y de hidrógeno, armas químicas (gas mostaza, gases tóxicos).

Todo lo que se ha venido señalando contribuye, además, a fomentar visiones empobrecidas de la ciencia, a la vez que favorece en particular una imagen social de la química que no es en general positiva. Sin embargo, como pretende mostrar esta investigación, la situación puede mejorar si se realiza un correcto tratamiento, en la enseñanza de las ciencias, de las aportaciones de la ciencia (y en concreto en el tema de este trabajo, la Química Verde) a la sociedad y al medioambiente, si se ayuda a comprender el papel que la química para la Sostenibilidad juega ya hoy en día y puede jugar en la construcción de un presente y un futuro sostenibles.

DISEÑOS EXPERIMENTALES PARA PONER A PRUEBA LAS HIPÓTESIS

En este apartado señalaremos algunos de los posibles diseños y estrategias concebidas para poner a prueba la primera hipótesis, así como los resultados obtenidos al aplicar y estudiar hasta qué punto la enseñanza de las ciencias está dando la importancia que se merece al papel de la Química Verde. En síntesis, las estrategias utilizadas han sido:

- análisis de la atención prestada a la Química Verde en los libros de texto de secundaria y bachillerato de dos comunidades autónomas diferentes;
- revisión bibliográfica de algunas de las revistas más utilizadas en España y a nivel internacional, para contrastar si en el ámbito de la innovación y la investigación didáctica aparecen referencias a la Química Verde en las contribuciones publicadas, y
- estudio de las concepciones tanto de docentes en activo como en formación y del alumnado sobre la Química Verde y su papel en la educación en ciencias.

De acuerdo con la hipótesis formulada, se debería encontrar un conjunto de respuestas básicamente convergentes con la utilización de los diferentes diseños.

Diseño para el análisis de libros y materiales didácticos

Para comprobar cuál es la atención de la enseñanza de las ciencias y de la química, en particular, a la química para la Sostenibilidad y a sus contribuciones, se analizan diferentes libros de texto que comprenden los cursos de 3.º de la ESO a 1.º de bachillerato de Física y Química, así como los de Química de 2.º de bachillerato de la Comunidad Valenciana y Cataluña, utilizando una red de análisis validada por el equipo de investigación (cuadro 1).

Este instrumento consta de siete ítems para facilitar la recogida de los datos de cada libro analizado. Algunos de los apartados se han desglosado en diferentes cuestiones con las que se pretende ver el grado de profundidad con el que se aborda, en su caso, cada aspecto. Con los primeros tres ítems, se quiere comprobar si el libro de texto hace referencia al concepto de Química Verde, qué aspectos de esta trata, en su caso, y con qué profundidad lo hace. Con el resto de ítems, se desea analizar, en caso de que el libro de texto haya incluido referencias al concepto de Química Verde, si realmente este tratamiento contribuye a la concienciación sobre la necesidad de acciones para avanzar hacia la transición a la Sostenibilidad y al papel de la Química Verde en las soluciones.

Cuadro 1.
Plantilla análisis libros de texto y materiales didácticos

TÍTULO:	CURSO:
AUTORES:	
EDITORIAL:	AÑO:
N.º DE TEMAS:	N.º DE PÁGINAS:
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 socioambientales?	
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?	

Diseño para el análisis de revistas de investigación e innovación didáctica

El conjunto de revistas seleccionado está formado, en primer lugar, por algunas de las más utilizadas en investigación e innovación en didáctica de las ciencias en España. Asimismo se han analizado dos revistas de ámbito internacional centradas en la investigación en el campo de la didáctica de las ciencias y dos específicas de enseñanza de la química. Por último, se ha analizado una revista de química industrial que contiene una sección dedicada a la educación, con la finalidad de ver hasta qué punto se presta atención a la Química Verde (cuadro 2).

Se ha analizado cada revista entre los años 2005-2014 con el fin de mostrar las posibles aportaciones publicadas en el campo de la química sostenible, en el periodo de la Década de la Educación por un Futuro Sostenible. Se analizará cada revista por número y volumen aparecidos cada año (estos datos pueden variar según la accesibilidad y el año de inicio de publicación de la revista). Además de revisar y analizar los contenidos de las revistas seleccionadas, los posibles artículos con aportaciones han sido a la vez de gran ayuda para precisar y orientar la investigación.

Cuadro 2.
Revistas analizadas (2004-2015)

<i>Revistas</i>
<i>Eureka</i>
<i>Alambique</i>
<i>REEC</i>
<i>Enseñanza de las Ciencias</i>
<i>Science Education</i>
<i>Science & Education</i>
<i>Educació Química</i>
<i>Educación Química</i>
<i>Química e Industria</i>

Questionarios y entrevistas al profesorado

Por último, se han elaborado cuestionarios para profesorado en formación (cuadro 3) y cuestionarios (cuadro 4) y entrevistas (cuadro 5) para profesorado en activo, con el objetivo de analizar sus concepciones sobre la Química Verde y sus aportaciones al campo de la química.

Cuadro 3.
Cuestionario análisis del conocimiento del profesorado en formación sobre Química Verde

<p>Cuestionario 1: Profesorado en formación</p> <p>Titulación: Año finalización:.....</p> <p>Teniendo en cuenta la importancia de la química, y en particular de la Química Verde, para contribuir a resolver los problemas a los que ha de hacer frente la humanidad, responda por favor a las cuestiones que aparecen a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 currículo de Química? ¿Por qué?

Cuadro 4.
Cuestionario para analizar conocimiento del profesorado en activo sobre la Química Verde

<p>Cuestionario 2: Profesorado en activo</p> <p>Titulación: Año finalización:.....</p> <p>Años de docencia.....</p> <p>Teniendo en cuenta la importancia de la química, y en particular de la Química Verde, para contribuir a resolver los problemas a los que ha de hacer frente la humanidad, responda por favor a las cuestiones que aparecen a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Conoce el concepto de Química Verde? Explique qué significa. 2. ¿De dónde procede ese conocimiento? 3. ¿Lo trata o lo ha incorporado a sus clases? 4. ¿Cómo cree que sería la mejor manera de introducirlo dentro del currículo científico?
--

Cuadro 5.

Entrevista para analizar la atención del profesorado en activo de ciencias a la Química Verde

Entrevista

Teniendo en cuenta la importancia de la química, y en particular de la Química Verde, para resolver los problemas a los que ha de hacer frente la humanidad, responda por favor a las cuestiones que aparecen a continuación:

1. ¿Conoce el concepto de Química Verde?
2. ¿De dónde procede ese conocimiento?
3. ¿Qué aportaciones conoce de este campo de la química?
4. ¿Piensa que se le tendría que prestar atención en el currículo de Química? ¿Por qué?
5. ¿Lo trata o la ha incorporado a sus clases?
6. ¿Cómo cree que sería la mejor manera de introducirlo dentro del currículo?

Con estos instrumentos se pretende analizar si el profesorado en activo y en formación conoce el concepto de Química Verde y sus aportaciones. Además, interesa saber de dónde procede ese conocimiento, con el fin de conocer si se ha estudiado en la enseñanza de las ciencias, así como ver la importancia que le conceden dentro del currículo de Química y, en el caso de profesorado en activo, ver si lo tratan en sus clases y cómo lo hacen.

PRIMEROS RESULTADOS

A continuación se muestran unos primeros resultados obtenidos al aplicar los diseños elaborados para la contrastación de la primera hipótesis, con la finalidad de analizar la atención que la enseñanza y la propia investigación en el campo de la educación científica están prestando a la Química Verde.

Análisis de libros y materiales didácticos

Los cuestionarios se han aplicado a libros de dos comunidades autónomas:

- Comunidad Valenciana: 18 libros de texto de Física y Química de los niveles que van de 3.º de ESO a 2.º de bachillerato (en este curso, solo el material de Química), y se han analizado un total de 156 capítulos.
- Cataluña: 9 libros de texto de Física y Química de los niveles que van desde 4.º de ESO hasta 2.º de bachillerato (solo el material de Química), y se han analizado un total de 70 capítulos.

Respecto a los criterios de evaluación adoptados para el análisis, se ha tenido en cuenta como unidad cada capítulo de los libros analizados, ya que el objetivo no es realizar un análisis individualizado de diferentes libros, sino un análisis cualitativo del tratamiento que se hace, en general, al papel de la química y en concreto de la Química Verde en los libros de texto.

En cuanto a las referencias a la Química Verde, se contabilizará cualquier propuesta de trabajo dirigida al alumnado, independientemente del lugar donde se encuentre. Por otra parte, se ha tenido en cuenta cualquier referencia a la Química Verde por superficial que sea, con la finalidad de ponernos en la situación más desfavorable para la hipótesis.

Cuadro 6.
Capítulos de libros de Física y Química de la Comunidad Valenciana que contienen referencias al concepto de Química Verde (N=156)

<i>Capítulos en los que aparece la Química Verde</i>			
Curso		Capítulos en los que hay referencias	% (σ)
ESO	N= 101	2	1,9 (1,4)
Bachillerato	N= 55	1	1,8 (1,8)
Global	N= 156	3	1,9 (1,1)

El análisis de los libros de la Comunidad Valenciana (cuadro 6) ha mostrado que solamente en tres de los capítulos analizados se hace alguna referencia a la Química Verde, en las que se menciona la química sostenible, se introduce el concepto de Química Verde y los principios en los que se basa con un tratamiento, en general, de forma muy superficial. Es importante señalar que el análisis ha puesto de manifiesto la existencia de numerosas ocasiones en las que se podía y debía haber tratado la Química Verde por su vinculación directa con los contenidos. En algún texto se han detectado referencias relacionadas con algunos de sus principios sin citar la Química Verde, como si se desconociera la existencia de este campo de la química tan relevante en la actualidad.

Por otra parte, el análisis de los setenta capítulos de los libros de Cataluña ha mostrado solo una referencia implícita a la Química Verde o química para la Sostenibilidad. Se ha encontrado, en uno de los capítulos, un apartado del tema que hace referencia a la química y a la construcción de un futuro sostenible en el que se explican algunos de los principios de la Química Verde.

Cuadro 7.
Capítulos de libros de Física y Química de Cataluña que contienen referencias al concepto de Química Verde (N=70)

<i>Capítulos en los que aparece la Química Verde</i>			
Curso		Capítulos en los que hay referencias	% (σ)
ESO	N= 12	0	0 (0)
Bachillerato	N= 58	1	1,72 (1,76)
Global	N= 70	1	1,43 (0,95)

Por tanto, en síntesis, estos primeros resultados del análisis apoyan la hipótesis al mostrar que la mayoría de los libros de texto no prestan atención a la Química Verde.

Análisis de revistas de investigación e innovación en didáctica de las ciencias

Para el estudio de la atención que la investigación en el campo de la educación científica está prestando a la Química Verde, se han analizado cuatro revistas (cuadro 8) seleccionadas entre las más utilizadas en el campo de la didáctica de las ciencias en España, así como dos revistas internacionales. Además se analizan otras dos revistas específicas de la enseñanza de la química y una no educativa pero que tiene un apartado dedicado a la educación química. Se ha tenido en cuenta cada artículo que haga referencia a cualquier aspecto de la Química Verde por superficial o incidental que sea, con la finalidad de ponerlos en la situación más desfavorable para nuestra hipótesis. El análisis se ha realizado en el periodo 2005-2014 e implica un total de 2.914 artículos, entre los que se ha encontrado, en las revistas de innovación e investigación, solamente un 0,21% que hagan referencia al concepto de Química Verde.

Cuadro 8.
Artículos analizados de revistas de innovación
e investigación didáctica (2005 a 2014) en los que aparecen referencias a la Química Verde

	<i>Eureka</i>	<i>Alambique</i>	<i>REEC</i>	<i>Enseñanza de las Ciencias</i>	<i>Science Education</i>	<i>Science & Education</i>
N.º total artículos analizados	430	417	334	348	581	804
N.º art. QV	1	2	1	1	0	1
% art. QV (σ)	0,23 (0,23)	0,48 (0,34)	0,30 (0,30)	0,29 (0,29)	0	0 (0,01)

Por otra parte, en España se publica la revista *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», que también se ha revisado, juntamente con los artículos publicados en la revista, con el fin de ver si, desde este ámbito, se presta o no atención a la Química Verde. Los resultados (cuadro 9) muestran que de los 168 artículos analizados solo un 1,79 % hace referencia a la Química Verde.

Cuadro 9.
Artículos analizados en la revista *Química e Industria*
en los que aparecen referencias a la Química Verde (2005 a 2014)

	<i>Química e Industria</i>
N.º total artículos analizados	173
N.º art. QV	3
% art. QV (σ)	1,79 (1,01)

Estos resultados son convergentes con la hipótesis de trabajo y ponen de manifiesto que la atención que la educación y, en particular, la investigación e innovación en didáctica de las ciencias están dando a la Química Verde, como herramienta para contribuir a la formación ciudadana, es muy escasa.

Por otra parte, se han analizado también dos revistas específicas (cuadro 10) de enseñanza de la química, una mexicana de la UNAM del ámbito Iberoamericano y la segunda de Cataluña, de la Societat Catalana de Química. De los 667 artículos analizados en estas dos revistas, se ha encontrado un 4,35% de artículos que hacen referencia y tratan con detenimiento, en su mayoría, el concepto de Química Verde en la educación científica. En ambos casos, como cabía esperar, podemos constatar cómo la atención prestada a la química para la Sostenibilidad es mayor que en el caso de las revistas de enseñanza de las ciencias en general.

Cuadro 10.
Artículos analizados en las revistas *Educación Química* (2005-2014)
y *Educació Química* (2008-2014) en los que aparecen referencias a la Química Verde

	Revista mexicana <i>Educación Química</i>	Revista catalana <i>Educació Química</i>
N.º total artículos analizados	540	127
N.º artículos QV	24	5
% artículos QV (σ)	4,44 (0,89)	3,94 (1,73)

Algunos ejemplos de los artículos encontrados en el análisis realizado de las revistas, del campo de la Química Verde o para la Sostenibilidad:

- Borsese, A. y Esteban, S. (2005). Química, educación ambiental y vida cotidiana: El ozono troposférico. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (2), pp. 251-561.
- González, M. L. y Valea, A. (2009). El compromiso de enseñar Química con criterios de Sostenibilidad: la Química Verde. *Educació Química*, 2, pp. 48-52.
- Mestres, R. (2008). Química Sostenible: conceptos, objetivos y estrategias, *Química e Industria*, 576, pp. 30-34.
- Reyes-Sánchez, L. B. (2012). Aporte de la Química Verde a la construcción de una ciencia socialmente responsable. *Educación Química*, 23 (2), pp. 222-229.

Resultados obtenidos al aplicar los cuestionarios y las entrevistas a docentes

Otra estrategia concebida para estudiar hasta qué punto el profesorado en formación conoce el concepto de Química Verde ha consistido en plantear varias preguntas a una muestra de 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 para la Sostenibilidad, en las que esta problemática se trata.

Respecto a los criterios adoptados para realizar el análisis de los cuestionarios y las entrevistas, se considera como respuesta correcta reconocer que se trata de un campo específico dentro de la química o bien señalar alguno de los principios básicos en los que se basa, o indicar que se trata de un campo emergente, etc. Con una evaluación rigurosa, en realidad ninguna de las respuestas se podría considerar adecuada, ya que no se hace referencia explícita a los indicadores señalados.

Cuadro 11.
Porcentaje de respuestas primer ítem
cuestionario profesorado en formación (N=21)

	Ítem 1: ¿conoce el concepto de Química Verde?	
	N=21	% (σ)
Sí	3	14,3 (7,6)
No	18	85,7 (7,6)

En las respuestas que con criterios amplios han sido consideradas correctas (14,3%), hay referencias a algunos de los principios de la Química Verde, en general de manera superficial, y se dice en esos casos conocer el concepto a través de los estudios universitarios cursados y de los medios de comunicación. En el ítem 3, solo tres personas (14,29%) conocen algunas de las aportaciones que se están haciendo desde este campo de la química; entre las aportaciones citadas encontramos: evitar derivatizaciones y sustancias auxiliares y la utilización de catalizadores. Por último, ante la pregunta de si consideran la Química Verde un tema importante dentro del currículo, dos tercios del profesorado en formación implicado piensa que sí se debería prestar más atención a la Química Verde por su importancia en la formación científica de la ciudadanía.

Asimismo, se realizaron entrevistas a cinco docentes, tres de Física y Química de secundaria en activo y dos pertenecientes al Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la UVEG, uno de ellos con más de 20 años de experiencia docente en secundaria. La metodología utilizada para realizar estas entrevistas y su transcripción parte de un guión temático (cuadro 5) con varias preguntas que se irán reorientando según sean las respuestas del profesorado implicado en torno a la

Química Verde. Se fijó el sistema de codificación para la transcripción de la conversación Gail (1984). Como en el caso de los cuestionarios, consideramos como respuesta correcta el hecho de reconocer que se trata de un campo específico dentro de la química o conocer algunos de los principios básicos, los autores que los han promovido, que se trata de un campo emergente, etc.

Solo tres de los cinco docentes entrevistados afirman conocer el concepto, pero en ningún momento hacen referencia a que se trate de un campo específico dentro de la química ni se conocen los principios en los que se basa. Como en el caso del profesorado en formación, parece que las respuestas se basan simplemente en la etimología de la expresión.

Por otra parte, el resto de docentes que han señalado que no conocían el concepto han intentado describirlo de forma etimológica, observándose que las respuestas son muy similares a las de los que han señalado que sí conocen este campo de la química.

Con el segundo ítem, se pretende conocer de dónde procede el conocimiento. Esta pregunta solo se formuló al profesorado que afirmó conocer el concepto, obteniendo respuestas que muestran que en ningún caso ha sido a través de estudios realizados, ni en secundaria ni en la universidad.

En el tercer ítem, se les preguntó por las aportaciones que conocen en este campo de la química, y las respuestas que se obtuvieron fueron:

- P1: la química a microescala y el análisis de los impactos de los procesos químicos.
- P2: no fue capaz de nombrar ninguna aportación.
- P5: secuestrar los metales pesados de la naturaleza.

Con el cuarto ítem, se pretende ver hasta qué punto los docentes que dicen conocer la Química Verde tratan este concepto en sus clases. P1 afirma no tratarlo en sus clases porque se ocupaba de la parte de la Física; P5 afirma haberlo tratado en clase pero pocas veces, ya que en su opinión es un tema tangencial que no aparece en los libros de texto.

Finalmente, a la pregunta de si piensan que debería estar incluido en el currículo de Química, todos responden afirmativamente argumentando que contribuiría a mejorar la visión de los estudiantes hacia la química.

Algunas primeras conclusiones y perspectivas

En definitiva, estos primeros resultados refuerzan nuestras conjeturas iniciales acerca de que la atención prestada por la educación científica a las aportaciones de la Química Verde en la enseñanza secundaria es, en general, escasa. Del mismo modo, el análisis de libros de texto realizado hasta el momento, en esta primera fase de la investigación, parece indicar que, en general, no están prestando atención suficiente a las aportaciones de la Química Verde y su papel para avanzar hacia la Sostenibilidad.

Como ya se ha explicado, el objetivo de esta investigación no está centrado únicamente en el análisis de la situación actual señalando sus posibles avances o deficiencias y limitaciones, sino que se pretende, fundamentalmente, a partir de los análisis realizados, tratar de contribuir a hacer que la Química Verde y sus aportaciones sean una herramienta realmente eficaz para formar ciudadanos y ciudadanas conscientes de la situación de emergencia planetaria, capaces de tomar decisiones fundamentadas dirigidas a avanzar en la transición a la Sostenibilidad.

Este objetivo fundamental se encuentra contemplado en la segunda hipótesis enunciada, que hace referencia a la necesidad y posibilidad de preparar y poner en práctica materiales para la enseñanza de las ciencias en secundaria y bachillerato, que contemplen el papel que la Química Verde está jugando y habría de jugar para resolver los problemas socioambientales, y contribuyan a mejorar el aprendizaje y las actitudes del alumnado hacia la ciencia y la química en particular. Con ello se quiere contribuir a la revolución científica que supone el surgimiento de un nuevo campo de conocimiento, la Ciencia

de la Sostenibilidad, de carácter transdisciplinar e interdisciplinar, que pretende abordar globalmente sin reduccionismos el sistema, cada vez más complejo, constituido por las sociedades humanas y los sistemas naturales con los que interaccionan y de los que forman parte.

Estas son algunas de las perspectivas que abre el trabajo aquí presentado que, como ya se ha señalado, constituye solo un fragmento de una investigación más amplia. Nuestra intención es convertir estas perspectivas en aportaciones fundamentadas para que la Química Verde, sus avances y adquisiciones desde la Ciencia de la Sostenibilidad puedan utilizarse como instrumentos eficaces en la educación científica y, muy en particular, para que contribuya a la implicación activa de la ciudadanía en la construcción de un presente y un futuro sostenibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANASTAS, P. y WARNER, J. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford: Oxford University Press.
- AZNAR, P.; MARTÍNEZ-AGUT, M. P.; PALACIOS, B.; PIÑERO, A. y ULL, M. A. (2011). Introducing sustainability into university curricula: an indicator and baseline survey of the views of university teachers at the University of Valencia. *Environmental Education Research*, 17 (2), pp. 145-166.
<http://dx.doi.org/10.1080/13504622.2010.502590>
- BORSESE, A. y ESTEBAN, S. (2005). Química, educación ambiental y vida cotidiana: El ozono troposférico. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (2), pp. 251-561.
- BYBEE, R. (1991). Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond? *The American Biology Teacher*, 53 (3), pp. 146-153.
<http://dx.doi.org/10.2307/4449248>
- BYBEE, R. (1997). Towards an Understanding of Scientific Literacy. En: W. Graeber, y C. Bolte (eds.). *Scientific Literacy*. Kiel: IPN.
- BYBEE, R. y DEBOER, G. (1994). Research on goals for the science curriculum. En: D. L. *Handbook of Research in Science Teaching and Learning*. New York: McMillan P. C.
- CHAMIZO, J. A. (2011). La imagen pública de la Química. *Educación Química*, 22 (4), pp. 320-331.
- COMISIÓN MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL DESARROLLO (1988). *Nuestro Futuro Común*. Madrid: Alianza.
- DE LA HOZ AYUSO, A. (2009). Los estudios de postgrado en química sostenible en España. *Educación Química*, 20 (4), pp. 405-411.
- DORIA, M. C. (2009). Química Verde. Un nuevo enfoque para el cuidado del medioambiente. *Educación Química*, vol. XX (4), pp. 412-420.
- DUARTE, C. M. (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. y PRAIA, J. (2004). La atención a la situación del mundo en la educación científica. *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (1), pp. 47-63.
- EDWARDS, M.; GIL PÉREZ, D.; VILCHES, A. y PRAIA, J. (2005). La atención a la situación de emergencia planetaria en revistas de didáctica de las Ciencias y educación científica. En: Membiela y Padilla (eds.). *Retos y Perspectivas de la enseñanza de las Ciencias desde el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad en los inicios del siglo XXI*. Vigo: Educación Editora.
- GAIL, J. (1984). Transcript notation. En: J. M. Atkinson y J. Heritage (eds.). *Structures of Social Action. Studies in Conversation Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.

- GARRITZ, A. (2009). Química Verde y reducción de riesgos. *Educación Química*, vol. 20 (4), pp. 394-397.
- GARRITZ, A. (2011). La celebración del año internacional de la química: Las contribuciones de la Química al bienestar de la humanidad. *Educación Química*, vol. 22 (1), pp. 2-7.
- GIL PÉREZ, D.; VILCHES, A.; EDWARDS, M.; PRAIA, J.; MARQUES, L. y OLIVEIRA, T. (2003). A proposal to enrich teachers' perception of the state of the world. First results. *Environmental Education Research*, 9 (1), pp. 67-90.
<http://dx.doi.org/10.1080/13504620303465>
- GIL PÉREZ, D. y VILCHES, A. (2004). Contribución de la Ciencia a la cultura ciudadana. *Cultura y Educación*, 16 (3), pp. 259-272.
<http://dx.doi.org/10.1174/1135640042360924>
- GONZÁLEZ, M. L. y VALEA, A. (2009). El compromiso de enseñar Química con criterios de Sostenibilidad: la Química Verde. *Educación Química*, 2, pp. 48-52.
- LUBCHENCO, J. (1998). Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science. *Science*, 279, pp. 491-497.
<http://dx.doi.org/10.1126/science.279.5350.491>
- MARCO, B. (2000). La alfabetización científica. En: F. Perales y P. Cañal (eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 141-164. Alcoy: Marfil.
- MARCO, B. (2004). Alfabetización científica: un puente entre la ciencia escolar y las fronteras científicas. *Cultura y Educación*, 16 (3), pp. 273-288.
<http://dx.doi.org/10.1174/1135640042360906>
- MARTINS, I. (coord.) (2000). *O Movimento CTS na Península Ibérica*. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- MARTINS, I.; PAIXÃO, F. y MARQUES VIEIRA, R. (eds.) (2004). *Perspectivas Ciência-Tecnologia-Sociedade na Inovação da Educação em Ciências*. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- MAYOR ZARAGOZA, F. (2000). *Un mundo nuevo*. Barcelona: Círculo de lectores.
- MESTRES, R. (2008). Química Sostenible: conceptos, objetivos y estrategias. *Química e Industria*, 576, pp. 30-34.
- NACIONES UNIDAS (1992). *Conference on Environment and Development, Agenda 21 Rio Declaration, Forest Principles*. Paris: UNESCO.
- OCDE (2006). *Evaluación de la Competencia Científica, Matemática y Lectora: Un marco teórico para PISA 2006*. Paris: OECD.
- ORR, D. W. (1995). *Educating for the Environment. Higher education's Challenge of the Next Century*, pp. 43-46. New York: Change.
<http://dx.doi.org/10.1080/00091383.1995.10544663>
- REYES-SÁNCHEZ, L. B. (2012). Aporte de la Química Verde a la construcción de una ciencia socialmente responsable. *Educación Química*, 23 (2), pp. 222-229.
- ROCARD, M.; CSEMERLY, P.; JORDE, D.; LENZEN, D.; WALWEG-HENRIKSSON, H. y HEMMO, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. European Commission. Community Research.
- SANTOS, W. y AULER, D. (coords.) (2011). *CTS e Educação Científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa*. Brasília: UNB Editora.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81 (4), pp. 377-386.
[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199707\)81:4<377::AID-SCE1>3.0.CO;2-9](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199707)81:4<377::AID-SCE1>3.0.CO;2-9)
- TIPPINS, D. J.; NICHOLS, S. E. y KEMP, A. (1999). *Cultural myths in the making: The ambiguities of science for all*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Boston, MA.

- ULL, M. A.; PIÑERO, A.; MARTÍNEZ AGUT, M. P. y AZNAR MINGUET, P. (2014). Preconcepciones y actitudes del profesorado de Magisterio ante la incorporación en su docencia de competencias para la Sostenibilidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (2), pp. 91-112.
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.904>
- VILCHES, A. y GIL PÉREZ, D. (2009). Una situación de emergencia planetaria a la que debemos *y podemos* hacer frente. *Revista de Educación*, número extraordinario 2009, pp. 101-122.
- VILCHES, A. y GIL PÉREZ, D. (2011). Papel de la Química y su enseñanza en la construcción de un futuro sostenible. *Educación Química*, 22 (2), pp. 103-11.
- VILCHES, A. y GIL PÉREZ, D. (2013). Creating a Sustainable Future: Some Philosophical and Educational Considerations for Chemistry Teaching. *Science & Education*, 22 (7), pp. 1857-1872.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11191-011-9404-x>
- WORLDWATCH INSTITUTE (1984-2016). *The State of the World*. New York: W. W. Norton.

Green Chemistry and Sustainability in Science Education in Secondary Schools

Laura Mascarell Borreda

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universitat de València
masbolau@alumni.uv.es

Amparo Vilches Peña

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universitat de València
amparo.vilches@uv.es

Numerous scientific studies show that today we face a situation marked by interrelated, serious socio-environmental problems (pollution and ecosystem's degradation, resource depletion, growing inequalities...). A real planetary emergency situation (Bybee, 1991) which poses a challenge to the continuity of the human species (Worldwatch Institute, 1984-2016; World Commission on Environment and Development, 1988; United Nations, 1992; Gil Perez *et al.*, 2003; Edwards *et al.*, 2004; Duarte, 2006; Vilches and Gil-Pérez, 2009).

This has led to numerous specialists' and international organizations' appeals (Worldwatch Institute, 1984-2016; Bybee, 1991; United Nations, 1992; Orr, 1995; Mayor Zaragoza, 2000), in particular the celebration of Earth Summits' in Rio de Janeiro in 1992, in Johannesburg ten years later, and in 2012 the Rio + 20. They called for the participation of educators from all areas and levels of formal and non-formal education to contribute to make citizens aware of the current situation of planetary emergency and to urge them to be prepared to participate in the necessary decision-making.

However, these calls did not get an adequate response, so in the Second Earth Summit (Johannesburg, 2002) the idea of an intense and long campaign to get the involvement of educators in different areas and levels in the formation of a citizenry aware of the serious earth's situation and capable of contributing to the necessary action towards sustainability measures was promoted. Thus, in 2005, the United Nations established the «Decade of Education for a Sustainable Future» (2005-2014). An important initiative that has left a very positive balance, with advances in the different fields and levels of education, including teacher training, as shown by the large number of publications, researches, conferences and seminars conducted in the field of Education Sustainability.

The aim of this research is to understand the importance of Chemistry in our societies, particularly in the face of the challenge of building a sustainable future. Therefore, addressing this problem in science classes, and particularly in teacher training will contribute to show a more real, more contextualized chemistry. At the same time, this would help to overcome some reticence and incomprehension towards the responsibility that Chemistry has to address the problems of the planet, thus promoting the interest of young people on chemistry and its study (Garritz, 2011; Vilches and Gil Pérez, 2011).

This paper proposes to study the role of Green Chemistry in Science Education, to contribute with Sustainability Science and therefore the transition to sustainable societies. First, we introduced the importance of Green Chemistry and its principles. Sustainable Chemistry (Green Chemistry) is a fundamental change in the way that science poses the chemical design and synthesis of substances: it means the design, development, and application of chemical products and processes to reduce or eliminate the use and generation of substances hazardous to human health and the environment. Sustainable Chemistry, which is worth highlighting by its preventive nature as it aims to avoid problems before they occur, is based on twelve principles formulated originally in the late 90s of last century by Paul Anastas and John Warner (1998) in their book *Green Chemistry: Theory and Practice*.

We show the results of the analysis carried out about the teaching and the research attention to the contributions of Green Chemistry, with the aim of helping to incorporate it in the formation of the citizenship and the adoption of measures to build a sustainable future.