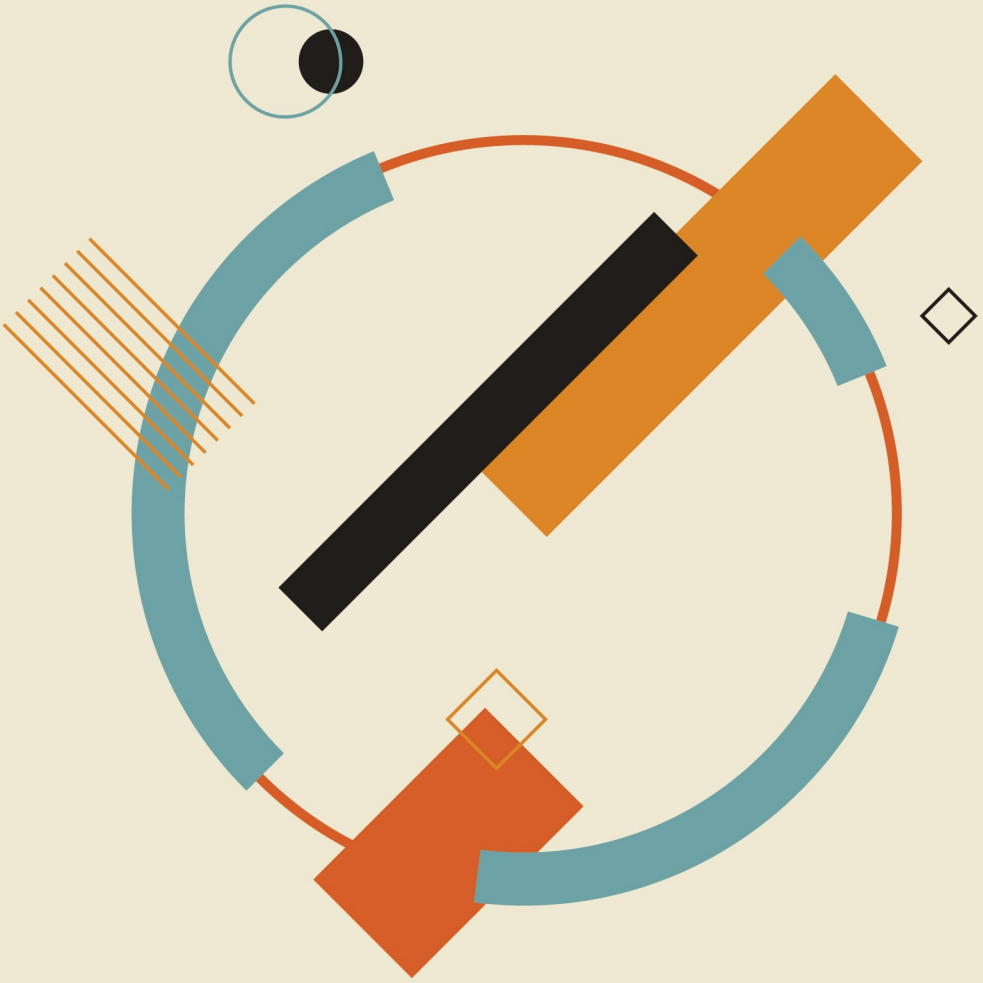
INNOVACIÓN EN LA PRÁCTICA EDUCATIVA UNIVERSITARIA

INOVAÇÃO NA PRÁTICA EDUCACIONAL UNIVERSITÁRIA

Editores **Pedro Membiela · María Isabel Cebreiros**



Educación Editora

Innovación en la práctica educativa universitaria

Inovação na prática educacional universitária

Pedro Membiela y María Isabel Cebreiros
(editores)

Educación Editora

Edita Educación Editora

Roma 55, Barbadás 32930 Ourense

email: educacion.editora@gmail.com

ISBN: 978-84-15524-48-9

Año de publicación: 2023

40. Experiencias de sostenibilización curricular en las especialidades de ciencias experimentales del Máster de Formación del Profesorado de Secundaria de la Universitat de Barcelona

Gregorio Jiménez Valverde*, Genina Calafell i Subirà, Hortensia Durán Gilabert y Mireia Esparza Pagès

Grup d'Innovació Docent d'Educació Científica, Tecnològica i per a la Sostenibilitat (EduCits), Facultat d'Educació, Universitat de Barcelona

*gregojimenez@ub.edu

Resumen

En este trabajo presentamos varios ejemplos de sostenibilización curricular llevados a cabo en diversas asignaturas del Máster de Formación del Profesorado de Secundaria Obligatoria y Bachillerato, de las especialidades de Biología y Geología y de Física y Química, de la Universitat de Barcelona.

Palabras clave

Sostenibilización curricular, educación ambiental, enseñanza de las ciencias, formación del profesorado, educación para el desarrollo sostenible.

Introducción

Vivimos en un momento de emergencia planetaria y crisis ambiental si nos atenemos a los últimos informes del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) o a la declaración de 15 364 científicos sobre la degradación ambiental del planeta y sus efectos (Ripple et al., 2017). La necesidad de impulsar y desarrollar políticas y programas educativos en favor del medio ambiente y capacitar a la ciudadanía para avanzar hacia un mundo más sostenible está consensuada internacionalmente, como lo reflejan las tres ediciones de la Cumbre de la Tierra (Estocolmo, 1972; Río de Janeiro, 1992; Johannesburgo, 2002), la Década de la Educación para el desarrollo sostenible (2004-2014) y la declaración de los 17 Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) en la Agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible, aprobadas por la ONU en 2015, con la participación activa de la UNESCO (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015).

La Conferencia de Naciones Unidas de Estocolmo de 1972 ya destacó la indispensable labor de la educación obligatoria para introducir el respeto y el cuidado del medio ambiente, con el término de educación ambiental. En la actualidad, y casi cincuenta años después, continúa siendo una necesidad apremiante la incorporación de la sostenibilidad en los programas educativos (Vilches y Gil Pérez, 2013). De hecho, la meta 4.7 del ODS 4 (educación de calidad) se refiere a la adquisición, por parte de todos los estudiantes, de los conocimientos para promover el desarrollo sostenible. La formación inicial de los docentes juega un papel crucial para poder conseguir este objetivo. Sin embargo, tal y como Solís-Espallargas y Valderrama-Hernández (2015) señalan, la incorporación de la sostenibilidad en el currículum universitario presenta todavía serios problemas y es necesario realizar un esfuerzo para incorporar la educación para el desarrollo sostenible (EDS) en la formación del profesorado de todos los niveles.

Desde una mirada crítica, Gutiérrez (2018) diagnostica que si no se ha logrado disminuir la crisis ambiental es, entre otros motivos, por la falta de un modelo didáctico para abordar estas cuestiones. Por ello, en nuestro grupo de innovación docente (EduCits) queremos avanzar en la indagación de estos modelos didácticos mediante la incorporación de elementos de sostenibilidad en la formación inicial del profesorado de secundaria. Para ello nos nutrimos de las aportaciones de Collazo y Geli (2017), quienes argumentan que para lograr una transformación de la educación para la sostenibilidad no es suficiente con "ambientalizar" el currículum con nuevos contenidos ambientales, sino que es necesaria la presencia de metodologías activas de aprendizaje en los programas, y esto nos brinda una oportunidad para acometer cambios más globales en los procesos educativos hacia la sostenibilidad.

Creemos, por tanto, que la EDS y la ambientalización curricular (Junyent, Geli y Arbat, 2002) deben ser elementos cruciales en las asignaturas de los programas de formación inicial de docentes de secundaria no solo porque la referida declaración de los ODS y la Agenda 2030 inviten a las instituciones educativas a introducir el aprendizaje de los ODS en sus programas formativos, sino también por larga trayectoria de sinergia entre la enseñanza de las ciencias y la EDS, que favorece ambas enseñanzas (Calafell y Junyent, 2017; Dillon y Scott, 2002; Sauvé, 2010).

El objetivo de esta comunicación es describir tres experiencias de sostenibilización curricular llevadas a cabo durante el curso 2020-2021 en el Máster de Formación del Profesorado de Secundaria Obligatoria y Bachillerato de la Universitat de Barcelona, en las especialidades de Biología y Geología y de Física y Química, utilizando metodologías activas y bajo el enfoque que proporcionan las directrices para la introducción de la sostenibilidad en el currículum, aprobadas por la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas en 2005 (CRUE, 2012).

Descripción de las experiencias

Especialidad de Biología y Geología: "Innovación docente e investigación educativa" en Biología y Geología

En el curso 2020-2021 convergen cuatro acontecimientos que tienen como consecuencia la reformulación de la asignatura de "Innovación docente e investigación educativa" de la especialidad de Biología y Geología: la introducción de la sostenibilidad como competencia transversal en el plan docente de la asignatura a petición del equipo coordinador del máster; la modalidad de enseñanza híbrida en las universidades, derivada de la situación sanitaria provocada por la pandemia del COVID-19; la coordinación e implementación de la asignatura por parte de un nuevo docente con un perfil y compromiso en EDS y la planificación de impartir dicha asignatura justo al iniciar las clases del máster (en ediciones anteriores, esta asignatura se impartía en el segundo semestre).

Por todo lo anterior, se decidió sostenibilizar el plan docente de la asignatura y ello se llevó a cabo desde un enfoque que contemplaba una doble perspectiva: por una parte, la inclusión de contenidos de sostenibilidad en la innovación e investigación de la enseñanza y aprendizaje de la biología y la geología; y, por otra parte, la introducción de cambios en el proceso educativo orientados a construir una visión compleja y dinámica y a fomentar el pensamiento sistémico y relacional de los estudiantes, elementos propios de la sostenibilización curricular, según Barron, Navarrete y Ferrer-Balas (2010) y en coherencia con lo propuesto por Collazo y Geli (2017).

Con la finalidad de trabajar las competencias y los objetivos del plan docente desde dicho enfoque, se definen tres cuestiones que organizan los contenidos:

- La enseñanza de las ciencias y la innovación ¿De qué hablamos?

- La enseñanza de las ciencias y la investigación ¿De qué hablamos?

- ¿Qué aportan las metodologías emergentes en la enseñanza y aprendizaje de la biología y la geología?

Para cada cuestión se propone a los estudiantes un caso de estudio que en grupos de trabajo deben discutir y resolver. Los casos de estudio definidos presentan a los estudiantes una situación de enseñanza de la biología y la geología que incluye criterios de EDS. A continuación, se describen los casos de estudio, el desarrollo de los mismos y las principales aportaciones de los estudiantes para la resolución de dichos casos.

Caso de estudio-1:

El caso se contextualiza en un instituto simulado que participa en el programa de formación permanente de la Generalitat de Catalunya llamado "Red de competencias básicas". El profesorado del Departamento de Ciencias y Tecnología de dicho instituto se reúne quincenalmente para coordinarse y avanzar colabora-

tivamente en torno a la innovación que deben desarrollar en sus asignaturas con todo el alumnado de la ESO. A continuación, se muestra a los estudiantes el debate entre los docentes y las distintas opiniones para introducir este enfoque competencial. Entre las opiniones, está la de una docente que expresa: "Como departamento de ciencias deberíamos pensar cómo trabajamos la sostenibilidad y más ahora que la UNESCO propone los 17 ODS y que el logo, este círculo de colores, aparece en la agenda del instituto".

A partir de esta situación y con la información y el material de soporte del caso, los grupos de trabajo analizan y discuten la situación y aportan sus propuestas para innovar. La propuesta de cada grupo se comparte al resto mediante una presentación.

En sus propuestas, y en relación con la EDS, los estudiantes se manifestaron a partes iguales entre los defensores y los detractores de la EDS como propuesta innovadora para la enseñanza de las ciencias. Los defensores aluden a la emergencia y relevancia actual de los problemas ambientales o a la necesidad de innovar en formas de pensar y hacer en relación con la enseñanza de la biología y la geología, desde un compromiso hacia la sostenibilidad. Los partidarios de la opción contraria manifiestan que trabajar la sostenibilidad en la enseñanza de la biología y la geología es un aspecto que lleva años haciéndose y en consecuencia no es una cuestión innovadora. A esta afirmación la mayoría de los grupos aportan matices en torno a: la importancia de trabajar la EDS independientemente de su valor novedoso por la importancia que tiene, la posibilidad de ser innovación si se trabajan problemáticas actuales (por ejemplo, el cambio climático o la explotación de recursos naturales), o si la EDS se introduce en el currículum desde metodologías más activas y participativas.

Caso de estudio-2:

Este segundo caso se enmarca en un supuesto encargo del comité ejecutivo de un congreso internacional de enseñanza de las ciencias a un grupo de expertos para que identifiquen los temas o las líneas de interés que son más relevantes en el área, y si estos han cambiado en los últimos 15 años.

Cada grupo de trabajo de estudiantes representa un grupo de expertos del campo de la enseñanza y aprendizaje de la biología y la geología. Para ello, los estudiantes primero exploran en diferentes bases de datos y webs de revistas relevantes del área temas para proponer, discutir y consensuar ideas y líneas relevantes en la investigación en enseñanza de la biología y la geología. De acuerdo con estas propuestas y sus intereses, cada grupo seleccionó un tema a diagnosticar. Estos fueron: la nutrición y la salud, la sexualidad y la perspectiva de género, las imágenes y representaciones de la ciencia, la EDS, y la reducción, reutilización y reciclaje de los residuos. La diagnosis se realiza a partir de los números de la revista *Enseñanza de las Ciencias* de los últimos quince años y las actas de las XVIII, XIX y X ediciones del Congreso de Enseñanza de las Ciencias, ya que la revista y el congreso son referentes en el área de didáctica de las ciencias experimentales.

En la diagnosis realizada por el grupo de trabajo entorno a la EDS, el grupo llegó a la conclusión de que: "resulta evidente la falta de aportaciones de acción con la enseñanza de la sostenibilidad, donde este enfoque todavía necesita ser reforzado mejorando o modificando las actividades propuestas", una conclusión que ellos mismos manifestaron que les sorprendió por la escasa investigación en la enseñanza de las ciencias en relación con la sostenibilidad.

El grupo de trabajo que seleccionó las 3R realizó un estudio más cualitativo de la tipología de artículos de investigación de la revista y aportó que "la mayoría de los estudios concluyen que hay que realizar actividades didácticas prolongadas dentro del aula que establezcan vínculos entre la realidad de los estudiantes y los contenidos curriculares" así como que "la información que se da no es proactiva y muchos de ellos proponen innovaciones para motivar más al alumnado y despertar su responsabilidad social".

Caso de estudio-3:

Con el propósito de relacionar la innovación y la investigación en la enseñanza de las ciencias con nuevos enfoques metodológicos, se contextualiza un reto simulado común para todos los grupos. Este se concreta en: proponer al equipo editorial de la revista *Cuadernos de Pedagogía* el próximo tema del mes, en relación con el enfoque más relevante y actual en la enseñanza de la biología y la geología, a partir de seis enfoques (el aula inversa, la gamificación, el aprendizaje basado en proyectos, el *design thinking*, STEAM y la EDS).

Cada grupo preparó su propuesta y para ello se combinaron enfoques de la metodología puzle de agrupación y reagrupación de los participantes del trabajo colaborativo. Seguidamente un *role playing* culminó con una presentación de cada grupo para convencer al equipo editorial. Las metodologías propuestas por un mayor número de grupos fueron el aula inversa y el aprendizaje basado en proyectos, si bien la mayoría de los grupos manifestaron que estos dos enfoques no estaban reñidos con la EDS, sino que la estimulaban.

El enfoque de los estudios de caso desde la sostenibilización se ha convertido en una oportunidad para reflexionar en torno a la innovación e investigación en la enseñanza de la biología y la geología y la inclusión de la EDS de forma activa. Prueba de ello es que, de un total de treinta trabajos de fin de máster de la especialidad, siete se están desarrollando con una incorporación explícita de la EDS y de los veintiocho restantes, cinco hacen referencia a aspectos que tienen alusiones, más o menos explícitas, a la sostenibilidad, si bien es cierto que no la trabajan como problema a investigar o innovar.

Especialidad de Biología y Geología: "Didáctica de la biología y la geología"

A pesar de que no aparece explícitamente en el plan docente, en la asignatura "Didáctica de la biología y la geología", a lo largo de estos últimos años se ha ido implementado una progresiva sostenibilización del currículo para conseguir que los

futuros profesores sean capaces de actuar críticamente (Barrón et al., 2010; Vilches y Gil Pérez, 2012), de forma que muchos de los temas tienen como punto de partida o bien como consecuencia final una aproximación a la sostenibilidad.

Así, la introducción a la didáctica de la geología normalmente incluye una primera sesión en la que, a partir de los objetos presentes en el aula-laboratorio, se hace un análisis de la procedencia de los materiales y a continuación se discute su abundancia y la gestión de los recursos, para concluir con la sostenibilidad de los materiales geológicos, más allá de los combustibles fósiles (Valero Capilla, 2012). Es especialmente relevante el caso de muchos minerales imprescindibles para obtener elementos tecnológicos, que son claramente no renovables y en general muy escasos, lo que puede generar, si no se actúa de inmediato, un grave problema de falta de recursos (Bustillo Revuelta, 2017; Henckens, 2021).

Sin embargo, la sostenibilización curricular también puede hacerse a partir de temas que, de entrada, no parecen los más indicados para este fin. A continuación, se muestra un ejemplo de este tipo de enfoque.

Uno de los temas que se incluyen en la asignatura es la elaboración y desarrollo de itinerarios, y especialmente de itinerarios urbanos. A tal efecto, se enseña al alumnado no tan solo la utilidad de estos, sino también una forma de trabajo cooperativo mediante la utilización de la nube (Colomer et al., 2016), que los futuros docentes podrán replicar en sus aulas. Uno de los principales aspectos que trabajan los estudiantes, tanto con el profesor como en la confección de sus propios itinerarios urbanos, es el estudio de fósiles.

Los fósiles no solo son un buen recurso para explicar la evolución de los seres vivos, sino también para comprender cómo los cambios ambientales han provocado drásticos cambios en la biosfera. Como a menudo, los centros de secundaria no disponen de buenas colecciones, los profesores no acostumbran a utilizarlos, sin embargo, son muy abundantes en las rocas que revisten los edificios de las ciudades y pueden representar un magnífico recurso didáctico.

En el trabajo que realizamos con los estudiantes del máster, en primer lugar, el profesor guía un itinerario urbano en el que se pueden observar secciones de un gran número de fósiles de diferentes grupos y épocas. A continuación, se propone a los estudiantes que confeccionen sus propios itinerarios en los que se puedan observar fósiles, busquen la época y grupo al que pertenecen y los pongan en común. Tanto los fósiles mostrados por el profesor como los hallados por los estudiantes, se comparan con representantes actuales de los grupos que han encontrado o lo más próximos posibles. Se comprueba que mientras que los fósiles más modernos son muy parecidos a organismos actuales, los más antiguos resultan progresivamente más diferentes, y a menudo no encuentran representantes actuales fácilmente comparables.

Tras esta parte de la actividad se inicia un debate sobre cómo ha funcionado la evolución en nuestro planeta. A menudo los estudiantes tienen una visión

relativamente "tranquila" de la evolución, sin embargo, la evolución no es uniforme, sino que a lo largo de la historia de la vida se han producido una serie de grandes extinciones que han diezmado los organismos en un breve periodo de tiempo, seguidas después de una rápida radiación evolutiva a partir de los pocos supervivientes.

Gracias a los dinosaurios, la mayor parte de los estudiantes conocen la extinción del final del Mesozoico y que esta se produjo por un proceso catastrófico fortuito (la caída de un meteorito), por lo que suponen que las extinciones siempre tienen como causa una catástrofe similar. Sin embargo, se les explica que la mayor parte de las extinciones se han debido a cambios ambientales bruscos, a menudo ligadas a erupciones volcánicas masivas, que provocaron la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero y un rápido calentamiento del planeta, lo que causó la extinción de la mayor parte de los organismos (Pardo et al., 2011).

Finalmente, se les muestra un gráfico que indica el aumento del nivel de CO_2 debido a la actividad humana, comparándolo con el aumento de las temperaturas medias del planeta de las últimas décadas, para que elaboren hipótesis sobre las consecuencias si el calentamiento se mantiene, y se les propone investigar sobre los cambios ambientales pasados, compararlos con el actual y buscar especies que se hayan extinguido recientemente o estén en declive.

El estudio de los cambios ambientales del pasado ligados a extinciones, que inician observando fósiles en los edificios, los lleva a elaborar hipótesis sobre un posible futuro cercano en el que la causa de una gran extinción no sea la improbable caída de un meteorito o erupciones volcánicas masivas, sino la actividad humana.

Especialidad de Física y Química: Didáctica de la Química

Hasta el curso 2019-2020, la sostenibilidad no estaba contemplada en el plan docente de la asignatura Didáctica de la Química. A partir del curso 2020-2021, se incorpora la sostenibilidad como competencia transversal en la asignatura, pero sin que aparezca expresamente en el bloque de contenidos. Tal y como discuten Calero, Mayoral, Ull y Vilches (2019), la sola referencia a la sostenibilidad en forma de competencia no es suficiente para reorientar el currículum hacia sociedades más sostenibles. Por ello, el profesor ha de liderar en el aula los procesos de sostenibilización curricular y debe encontrar, por tanto, los contextos y enfoques más adecuados para integrar aspectos de sostenibilidad en la asignatura, de tal manera que el estudiante pueda adquirir conocimientos propios de Didáctica de la Química a través del desarrollo de esta competencia.

En el tema 3 de la asignatura "Didáctica de la Química aplicada a las sustancias elementales, compuestos y mezclas", se trabajó expresamente la importancia de los contextos a la hora de facilitar el aprendizaje de determinados conceptos en el alumnado de secundaria. La enseñanza descontextualizada de los elementos químicos ha sido señalada como uno de los principales problemas de aprendiza-

je, ya que obliga al estudiante a aprender de memoria los nombres y símbolos de los elementos químicos, la mayor parte de los cuales carecen de relevancia para el alumnado (Franco-Mariscal, 2015). Franco y Oliva (2013) encontraron que alumnos de secundaria obligatoria y bachillerato tenían serias deficiencias en la comprensión de la idea de elemento químico, incluso con problemas para identificar elementos químicos y asociarlos a materiales y objetos de nuestro entorno. Por ello, la enseñanza basada en contextos supone un enfoque especialmente interesante para la enseñanza de la química, ya que permite al estudiante comprender mejor la realidad que le rodea (Gilbert, 2006). Así, por ejemplo, Franco-Mariscal (2015, 2018) ha propuesto diferentes contextos cotidianos para el aprendizaje de los elementos químicos.

En nuestra propuesta utilizamos los teléfonos móviles como ejemplo de contexto para trabajar los elementos de la tabla periódica y relacionarlo con la sostenibilidad. Algunas preguntas que se hicieron a los estudiantes fueron: ¿Qué elementos están presentes en un teléfono móvil? ¿Cuánta disponibilidad hay de esos elementos? ¿Se encuentran concentrados o dispersos en la naturaleza? ¿Algunos de ellos provienen de zonas en conflicto? ¿Se gestionan adecuadamente los teléfonos móviles usados una vez dejan de funcionar? ¿Es sostenible cambiar de teléfono móvil cada dos años?

Los estudiantes se ayudaron de distintas infografías que ilustran la composición elemental de un teléfono móvil, así como de tablas periódicas que muestran la disponibilidad de los elementos químicos para las próximas décadas. Un ejemplo de tabla periódica "de sostenibilidad" de los elementos químicos, que además señala qué elementos forman parte de un móvil es la editada por la European Chemical Society, disponible en http://bit.ly/euchems-pt.

La discusión surgida a raíz de las preguntas anteriores es un ejemplo de debate de cuestiones sociocientíficas (*socioscientific issues*, SSI), uno de los modelos que Burmeister, Rauch y Eilks (2012) proponen como enfoque dentro de la educación para el desarrollo sostenible (EDS) en la enseñanza de la química. A los estudiantes se les presentaron los otros modelos que proponen estos autores: la aplicación de los principios de la química verde en las actividades prácticas de laboratorio; la integración de estrategias de sostenibilidad en la enseñanza de la química o la educación en química, como parte de un proyecto escolar para el desarrollo sostenible. Además, se les explicó qué son los ODS y en la consecución de cuáles de ellos la química juega un papel relevante (American Chemical Society, 2021).

A lo largo de la asignatura se les dio a los estudiantes ejemplos de diferentes maneras de integrar los elementos de sostenibilidad en actividades de enseñanza-aprendizaje. Cerca del final de la asignatura, los estudiantes tuvieron que realizar, en parejas, una programación de una unidad didáctica de química, para cualquier curso de la ESO. Posteriormente, cada estudiante tuvo que exponer, durante un máximo de 10 minutos, una de las actividades propuestas en su programa-

ción, que incluyera expresamente elementos de sostenibilidad o de química verde. Al ser la docencia virtual, debido a la situación de emergencia sanitaria derivada de la COVID-19, las presentaciones orales se llevaron a cabo a través de la herramienta *BlackBoard Collaborate*.

Estas presentaciones fueron evaluadas por sus propios compañeros, en un ejercicio de evaluación entre iguales remoto y síncrono. Así, al finalizar cada presentación, los estudiantes tuvieron que indicar su grado de acuerdo con una serie de afirmaciones, entre las cuales se incluye un criterio sobre sostenibilidad: "los aspectos de sostenibilidad de la actividad presentada son relevantes, significativos y coherentes dentro de la misma".

Para recoger los datos correspondientes a las evaluaciones, se usó el programa gratuito MOARS (Jiménez, 2021), que permite la gestión de muchas evaluaciones entre iguales simultáneas, con una mínima intervención del docente para procesar los resultados obtenidos. Además de poder visualizar los resultados globales obtenidos en la evaluación, MOARS permite exportar los datos de dichas evaluaciones en un formato compatible con el programa estadístico Minifac (www.winsteps.com/minifac.htm), que permite identificar y cuantificar el sesgo de severidad o benevolencia de los estudiantes, cuando actúan como evaluadores, aplicando el modelo de Rasch de múltiples facetas (Eckes, 2015).

Finalmente, se pidió a los estudiantes que señalaran aspectos positivos y mejorables de esta actividad de evaluación entre iguales. Algunos de los comentarios destacaron el aspecto formador de la actividad ("me parece muy positivo poder recibir *feedback* de mis compañeros, puesto que esto me puede ayudar a mejorar mis carencias de cara a mi futuro"), la mayor objetividad a la hora de evaluar ("el hecho de que sea anónimo hace que seas más objetivo evaluando") o el prestar más atención a las presentaciones de los compañeros al tener que evaluarlas ("hace que prestes más atención a los demás"). También hubo quien destacó que realizar 26 evaluaciones se hizo algo pesado ("Eran muchas presentaciones de 10 minutos y se hace pesado") o quienes dudaron de la competencia o de la objetividad de sus compañeros ("que puntúen los compañeros no lo veo bien, porque a mí me gusta tener el *feedback* del profesor, que es quien me evalúa y el experto del tema" o "puede que algunos compañeros hayan sido un poco injustos en sus calificaciones"). Finalmente, destacamos algún comentario de nuestros estudiantes con relación a los aspectos de sostenibilidad de las actividades que se expusieron, como "he podido ver como se ha incorporado la sostenibilidad en muchas actividades diferentes y eso me ha dado muchas ideas de cara a mi futuro como profesora".

Valoración global

En este trabajo hemos presentado distintos ejemplos de sostenibilización curricular en el marco del Máster de Formación del Profesorado de Secundaria. En ellos hemos podido constatar que la sostenibilización implica cambios no solo en

lo que se enseña, sino especialmente en cómo se enseña y en lo que se aprende. Otro aporte a la sostenibilización curricular es la posibilidad de conjugar el desarrollo de la competencia de sostenibilidad con otras competencias, como la de comunicación o la competencia digital. Además, entendemos que el trabajo colaborativo y la sociabilización del aprendizaje deberían jugar un papel clave dentro del desarrollo de las propuestas curriculares sobre sostenibilidad.

Es necesario encontrar los contextos y los enfoques más adecuados para integrar los aspectos de sostenibilidad en el currículum, estos deben presentarse conectados a los avances tecnológicos, a los intereses del alumnado y/o a la realidad que les rodea. No solo los profesores, sino también los propios estudiantes, futuros profesores de secundaria, nos han mostrado ejemplos muy variados de contextos y situaciones en los que poder incorporar expresamente elementos de sostenibilidad en actividades de las diferentes fases del proceso de aprendizaje (para explorar ideas previas, para introducir nuevos conocimientos o para la aplicación de los conocimientos adquiridos en nuevos contextos).

Finalmente, nos gustaría añadir que la sostenibilización curricular debería formar parte de los programas del Máster de Formación del Profesorado de Secundaria no únicamente de las asignaturas y especialidades más afines como pueden ser Biología y Geología y Física y Química, sino de forma transversal a todas las especialidades y asignaturas, pues es imprescindible avanzar en la inclusión de la sostenibilidad en las múltiples esferas del docente y el aprendiz (organización y gestión del aula, contenidos, metodología, evaluación e intervención en el contexto).

Referencias

American Chemical Society (2021). *Chemistry & Sustainable Development Goals*. https://www.acs.org/content/acs/en/sustainability/chemistry-sustainable-development-goals.html

Asamblea General de las Naciones Unidas (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Recuperado el 16 de marzo de 2021, de: https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html

Barron, A., Navarrete, A. y Ferrer-Balas, D. (2010). Sostenibilización curricular en las universidades españolas. ¿Ha llegado la hora de actuar? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7, 388-399.

Burmeister, M., Rauch, F. y Eilks, I. (2012). Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chemical Education Research and Practice*, 13, 59-68.

Bustillo Revuelta, M. (2017). *Mineral resources: from exploration to sustainability assessment*. Cham: Springer International Publishing, AG.

Calafell, G. y Junyent, M. (2017). La idea vector y sus esferas: una propuesta formativa para la ambientalización curricular desde la complejidad. *Teoría de la Educación*, 29 (1), 189-216.

Calero, M., Mayoral, O., Ull, M. A. y Vilches, A. (2019). La educación para la sostenibilidad en la formación del profesorado de ciencias experimentales en Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 37 (1), 157-175.

Collazo, L. M. y Geli, A. M. (2017). Avanzar en la educación para la sostenibilidad. Combinación de metodologías para trabajar el pensamiento crítico y autónomo, la reflexión y la capacidad de transformación del sistema. *Revista Iberoamericana de Educación*, 73, 131-154.

Colomer, M., Durán, H. y Puigcerver, M. (2016). Una nueva manera de utilizar los itinerarios urbanos en la enseñanza de la Geología: trabajo cooperativo mediante computación en la nube. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24 (2), 202-212.

CRUE (2012). Directrices para la introducción de la sostenibilidad en el currículum. Recuperado de: http://angelsull.es/sostenibilidad/wp-content/uploads/2013/04/Directrices-Sostenibilidad-curriculum-CRUE.pdf

Dillon, J. y Scott, W. (2002). Perspectives on environmental education-related research in science education. *International Journal of Science Education*, 24, 1111-1117.

Eckes, T. (2015). *Introduction to Many-Facet Rasch Mesurement* (2.ª ed.). Fráncfort: Peter Lang.

Franco, A. J. y Oliva, J. M. (2013). Evolución en el alumnado de la idea de elemento químico a lo largo del bachillerato. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (3), 353-376.

Franco-Mariscal, A. J. (2015). Exploring the everyday context of chemical elements: discovering the elements of car components. *Journal of Chemical Education*, 92 (10), 1672-1677.

Franco-Mariscal, A. J. (2018). Discovering the chemical elements in food. *Journal of Chemical Education*, 95 (3), 403-409.

Gilbert, J. K. (2006). On the nature of 'context' in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28 (9), 957-976.

Gutiérrez Bastida, J. M. (2018). *Education ambientalis. Invitación a la educación ecosocial en el Antropoceno*. Madrid: Editorial Bubok.

Henckens, T. (2021). Scarce mineral resources: Extraction, consumption and limits of sustainability. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105511.

Jiménez, G. (2021). Evaluación entre iguales representativa e inmediata con dispositivos móviles en el aula de ciencias: MOARS. En *29 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 28-35). Córdoba: Universidad de Córdoba y APICE.

Junyent, M., Geli, A. M. y Arbat, E. (2002). Características de la Ambientalización Curricular: Modelo ACES. En *Ambientalización Curricular de los Estudios Superiores* (pp. 15-32). Girona: Universitat de Girona – Red ACES.

Pardo, A., Keller, G. y Adatte, T. (2011). De México a India: en busca de las causas del ocaso de los dinosaurios. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19 (2), 149-161.

Ripple, W., Wolf, C., Newsome, T., Galetti, M., Alamgir, M., Crist, E. y 15 364 científicos firmantes de 184 países (2017). World scientists' warning to humanity: a second notice. *BioScience*, 67 (12), 1026-1028.

Sauvé, L. (2010). Educación Científica y educación ambiental: un cruce fecundo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28 (1), 5-18.

Solís-Espallargas, C. y Valderrama-Hernández, R. (2015). La educación para la sostenibilidad en la formación de profesorado. ¿Qué estamos haciendo? *Foro de Educación*, 13 (19), 165-192.

Valero Capilla, A. (2012). *Evaluación del agotamiento del capital mineral de la tierra. Más allá del cambio climático*. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza.

Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2012). La educación para la sostenibilidad en la Universidad: el reto de la formación del profesorado. *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 16 (2), 25-43.

Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2013). La ciencia de la sostenibilidad en la formación del profesorado de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (n.º extraordinario), 749-762.