



UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

**EL DESARROLLO DE HABILIDADES DE PENSAMIENTO CRÍTICO
MEDIANTE EL DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA
SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA LA EDUCACIÓN
SECUNDARIA OBLIGATORIA SOBRE LA CONTAMINACIÓN
MEDIOAMBIENTAL POR PLÁSTICOS**

Tesis Doctoral presentada por

María del Mar López Fernández

Dirigida por:

Dr. Francisco González García y Dr. Antonio Joaquín Franco Mariscal

Granada, 2022

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: María del Mar López Fernández
ISBN: 978-84-1117-653-8
URI: <https://hdl.handle.net/10481/79640>

Reconocimientos

Esta investigación es el resultado de una colaboración conjunta entre dos Grupos de Investigación del Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación (PAIDI) de la Junta de Andalucía. Concretamente, entre el Grupo de Investigación *Didáctica de las Ciencias Experimentales y de la Sostenibilidad* (HUM-613) de la Universidad de Granada y el Grupo de Investigación *Enseñanza de las Ciencias y Competencias* (ENCIC) (HUM-974) de la Universidad de Málaga.

Esta investigación se enmarca en el Proyecto I+D+i del Plan Nacional, referencia PID2019-105765GA-I00, titulado “*Ciudadanos con pensamiento crítico: Un desafío para el profesorado en la enseñanza de las ciencias*”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación en la convocatoria 2019, desde el 1 de junio de 2020 hasta 31 de mayo de 2024, cuyo investigador principal es Dr. Antonio Joaquín Franco Mariscal.

Agradecimientos

La investigación que aquí se presenta no hubiera sido posible sin la participación y colaboración desinteresada de varias personas a las que creo necesario expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, a mis directores de Tesis, el Dr. Francisco González García y el Dr. Antonio Joaquín Franco Mariscal, por su confianza depositada en mí y por su acompañamiento a lo largo de este camino. En especial, al Dr. Antonio Joaquín Franco Mariscal, por su paciencia y dedicación.

En segundo lugar, al equipo directivo y a todos mis compañeros y compañeras del centro educativo en el que se ha realizado esta investigación. Tanto por su flexibilidad para la realización de todas las prácticas educativas aquí descritas, como por su ayuda y apoyo durante el proceso.

En último lugar, a mi pareja, por compartir conmigo esta experiencia y por estar a mi lado en los momentos de agobio, estrés y dificultad, que han sido muchos. Sin él, esto no hubiera sido posible.

Resumen

El problema de la contaminación ambiental por plásticos genera una gran controversia en nuestra sociedad. Resuelven cuestiones importantes en nuestro día a día, pero en su fabricación se consumen recursos fósiles y los residuos plásticos producen una gran degradación ambiental. Ante esta cuestión, se mira a la escuela como generadora de actitudes, para solucionar este problema. Para ello, es imprescindible que los estudiantes comprendan el problema de los plásticos al completo, formen una opinión independiente, desarrollen habilidades de autonomía personal, analicen críticamente la información, etc., en definitiva, desarrollen habilidades de pensamiento crítico. Esta Tesis Doctoral recoge una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre plásticos y contaminación para desarrollar habilidades de pensamiento crítico con estudiantes de secundaria y se presenta por la modalidad de compendio de publicaciones, concretamente con un total de cuatro artículos, donde cada uno de ellos constituye un capítulo de esta memoria. El primer capítulo realiza una revisión de la literatura sobre la temática de los plásticos en Didáctica de las Ciencias Experimentales. El segundo, continúa con una reflexión sobre cómo los problemas socio-científicos pueden contribuir al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en estudiantes de secundaria. Los dos siguientes capítulos presentan los resultados de dos actividades incluidas en la secuencia de enseñanza-aprendizaje: una indagación sobre degradación de plásticos y un juego de rol sobre la prohibición de plásticos de un solo uso. A pesar de la importancia de los plásticos y su contaminación, los resultados indican que el número de publicaciones que contribuyan a crear una escuela generadora de sensibilización es bajo, los trabajos firmados por profesores fuera del ámbito universitario son escasos y apenas se establecen colaboraciones entre docentes de diferentes niveles educativos. Sumado a ello, los contenidos están centrados en un conocimiento propedéutico. El problema socio-científico de los plásticos, utilizando tareas como el juego de rol y la indagación, ha contribuido a que los estudiantes progresen en el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico. Concretamente, en las habilidades de toma de decisiones y argumentación en la tarea sobre la prohibición de plásticos de un solo uso, y en la visión de la química y adquisición de conocimientos en la tarea de indagación sobre degradación de plásticos.

Abstract

The problem of environmental pollution by plastics generates a great deal of controversy in our society. They solve important issues in our daily lives, but their manufacture consumes fossil resources and plastic waste causes great environmental degradation. Faced with this issue, the school is seen as a generator of attitudes to solve this problem. To do this, it is essential that students understand the whole problem of plastics, form an independent opinion, develop personal autonomy skills, critically analyse information, etc., in short, develop critical thinking skills. This doctoral thesis presents a teaching-learning sequence on plastics and pollution to develop critical thinking skills with secondary school students and is presented in the form of a compendium of articles, specifically with a total of four publications, each of which constitutes a chapter of this report. The first chapter reviews the literature on the subject of plastics in the teaching of experimental sciences. The second chapter continues with a reflection on how socio-scientific problems can contribute to the development of critical thinking skills in secondary school students. The next two chapters present the results of two activities included in the teaching-learning sequence: an enquiry on plastic degradation and a role-play on the ban of single-use plastics. Despite the importance of plastics and their pollution, the results indicate that the number of publications that contribute to create an awareness-raising school is low, the works signed by teachers outside the university environment are scarce and there are hardly any collaborations between teachers from different educational levels. In addition to this, the contents are centered on propaedeutic knowledge. The socio-scientific problem of plastics, using tasks such as role-playing and enquiry, has helped students to progress in the development of critical thinking skills. Specifically, in decision-making and argumentation skills in the task on banning single-use plastics, and in chemistry insight and knowledge acquisition in the enquiry task of plastics degradation.

Índice

Introducción.....	13
Capítulo 1. Marco teórico.....	15
1.1. El problema de los plásticos	17
1.2. Soluciones al problema: La escuela, generadora de cambio.....	18
1.3. Contexto normativo	19
1.4. Pensamiento crítico, educación científica y cuestiones ambientales	20
1.5. Los problemas socio-científicos como eje central para trabajar habilidades de pensamiento crítico	22
1.6. Contribución de la Tesis Doctoral a la literatura.....	23
Capítulo 2. Objetivos y preguntas de la investigación	25
Capítulo 3. Estructura y contexto de la investigación.....	29
Contexto educativo.....	33
Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio	35
Artículo 1. Plastics: A literature review in science education (2010-2019).....	37
Datos de la publicación.....	37
Objetivos y preguntas de investigación que responde el artículo:	38
1. Introduction.....	41
2. Objectives	42
3. Method.....	42
4. Results	45
5. Conclusions.....	54
6. Acknowledgments	55
7. References	55
Artículo 2. How can socio-scientific issues help develop critical thinking in chemistry education? A reflection on the problem of plastics	65
Datos de la publicación.....	65
Objetivos y preguntas de investigación que responde el artículo:	66
1. Plastics and Pollution, a Current Socio-Scientific Issue.....	69
2. Socio-Scientific Issues and Citizens' Critical Thinking	69
3. Evidence for the Development of Critical-Thinking Skills In Grade-8 Students in A Teaching-Learning Sequence on Plastics	71
4. Final Considerations	80
6. References	80
7. Associated Content.....	84
Artículo 3. Indagación sobre la degradación de plásticos con estudiantes de secundaria .87	
Datos de la publicación.....	87
Objetivos y preguntas de investigación que responde el artículo:	88
Resumen	89
1. Introducción	91
2. Objetivos e hipótesis.....	94
3. Metodología	95
4. Resultados.....	98

5. Consideraciones finales	103
6. Referencias.....	104
Artículo 4. Should We Ban Single-Use Plastics? A Role-Playing Game to Argue and Make Decisions in a Grade-8 School Chemistry Class	107
Datos de la publicación.....	107
Objetivos y preguntas de investigación que responde el artículo:	108
1. Background.....	111
2. Aim and Research Questions	114
3. Scenario	114
4. School Settings.....	119
5. Methods	119
6. Findings	121
7. Study Limitations	126
8. Conclusions and Implications	126
9. Funding.....	127
10. References.....	127
11. Associated content.....	131
Capítulo 5. Síntesis y conclusiones.....	143
Síntesis.....	144
Conclusiones.....	151
Consideraciones finales, limitaciones de la investigación y líneas futuras	151
Chapter 5. Summary and conclusions.....	155
Synthesis.....	157
Conclusions.....	163
Final considerations, limitations of the research and future lines of research	163
Capítulo 6. Referencias bibliográficas	165
Capítulo 7. Anexos.....	173
Anexo 1. Contribución complementaria a la Tesis Doctoral 1.....	175
Desarrollo de prácticas científicas en una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre la contaminación por plásticos en educación secundaria obligatoria.....	175
Anexo 2. Contribución complementaria a la Tesis Doctoral 2.....	193
El audiocuento como recurso didáctico para abordar los plásticos y la contaminación en educación secundaria.....	193
Anexo 3. Indicios de calidad de las revistas en las que se ha publicado.....	209
Anexo 4. Listado de méritos transversales a la Tesis Doctoral	211

Introducción

La investigación desarrollada a lo largo de esta Tesis Doctoral se enmarca en una línea de investigación que pretende el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en estudiantes de secundaria. Esta línea se desarrolla dentro del Grupo de Investigación PAIDI de la Junta de Andalucía HUM-974, *Enseñanza de las Ciencias y Competencias* (ENCIC), a través del Proyecto I+D+i del Plan Nacional, referencia PID2019-105765GA-I00, titulado “Ciudadanos con pensamiento crítico: Un desafío para el profesorado en la enseñanza de las ciencias”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación en la convocatoria 2019 cuyo investigador principal es Dr. Antonio Joaquín Franco Mariscal.

En esta Tesis Doctoral se ha diseñado, implementado y evaluado una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre contaminación ambiental por plásticos con estudiantes de la etapa de secundaria de un centro educativo de Málaga. Para ello, la doctoranda, compaginando la Tesis Doctoral con la labor como profesora de educación secundaria, ha sido la investigadora que ha realizado las prácticas educativas aquí descritas y ha recogido los datos en el aula.

La motivación que impulsa este estudio surge tras la realización del Máster Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas en la Universidad de Málaga. Ahí se tomó conciencia de la necesidad de que el alumnado, los futuros ciudadanos y ciudadanas, adquieran competencias para tener un pensamiento reflexivo que les permita decidir qué creer o hacer con una fundamentación, sobre todo, en cuestiones con grandes impactos para los ecosistemas y para nuestras sociedades. Tal vez, por mi formación como Bióloga, siempre he sentido un respeto especial por el medio que nos rodea. Es, por ello, por lo que el problema que tiene la humanidad actual con la contaminación por plásticos siempre me ha convivido. Y tengo claro que, las soluciones a esta cuestión de magnitud global deben comenzar desde las aulas.

La Tesis Doctoral que se presenta a continuación se ha realizado bajo la modalidad de compilación de artículos para la obtención del título de Doctor en Ciencias de la Educación por la Universidad de Granada. Siguiendo la normativa expuesta por esta Universidad, se aportan cuatro artículos publicados en revistas con índice de imparto JCR (Journal Citation Reports) o SJR (Scimago Journal Rank).

Capítulo 1. Marco teórico

1.1.El problema de los plásticos

Desde la fabricación del primer plástico sintético, en los años 60, la sociedad ha sufrido una gran transformación. Las principales características que hacen de los plásticos un material único son su ligereza y resistencia, tanto a esfuerzos mecánicos como térmicos, además de tener una producción muy económica (Elías, 2015). Estas características han contribuido a que los plásticos se hayan incorporado en nuestras vidas, reemplazando otros materiales, pasando a formar parte de prácticamente todo lo que nos rodea y ayudando a la preservación de la salud, la mejora del transporte o el desarrollo tecnológico, entre otros muchos aspectos de nuestra cotidianidad (Lusher et al., 2017).

Los combustibles fósiles son la materia prima a partir de la cual se producen los plásticos y constituyen un recurso muy limitado. Sin embargo, en estos momentos, para satisfacer todas nuestras necesidades y debido al consumo incesante, sobre todo de plásticos de un solo uso, son producidos de forma masiva (Jaén et al., 2019). Tras su uso, se convierten en un problema ambiental. No todos los plásticos pueden ser reciclados y aunque la mayoría de ellos sí, presentan ciertas dificultades, pues exigen una eficiente separación donde los ciudadanos juegan un papel importante (Arandes et al., 2004). Otras opciones que tienen estos desechos es su combustión para producir energía o su almacenamiento en vertederos. La realidad es que el destino final, en gran medida, es la naturaleza. Se estima que ocho millones de toneladas métricas de plásticos llegan a los océanos anualmente (Smith et al., 2018).

Una vez los plásticos se depositan en los ecosistemas, su alta resistencia hace que no se degraden con facilidad. Sus primeros efectos son físicos como atragantamiento, asfixia o desgarre de los organismos marinos (Eriksen et al., 2013). Posteriormente, las fuerzas naturales los fragmentan originando microplásticos (Smith et al., 2018), fragmentos de plásticos inferiores a 5 mm., que si se forman por la fragmentación de plásticos de mayor tamaño se denominan microplásticos secundarios. Sin embargo, este no es el único posible origen de los microplásticos. También existen microplásticos primarios que se fabrican a partir de derivados del petróleo, con un tamaño inferior a 5 mm, para añadirlos a exfoliantes, geles de baño, pastas dentífricas o detergentes, con el objetivo de que actúen como abrasivos físicos (Lusher et al., 2017).

Independientemente de su origen, estos plásticos de pequeño tamaño son muy fáciles de dispersar y están repartidos por todo el mundo. No solamente se encuentran en el agua del mar, también se han detectado en los suelos, en los polos de la Tierra (Anfuso et al., 2020), en el aire que respiramos, en el interior de los animales que comemos, en alimentos como la sal o la miel (CONTAM, 2016), en el agua que bebemos y, por supuesto, en nuestro organismo.

Además del problema ambiental, los plásticos, y más concretamente los microplásticos, también comienzan a ser un problema de salud para las personas. Algunos microplásticos los ingerimos directamente, mediante productos que los incorporan en sus fórmulas como, por ejemplo, la pasta dentífrica. Otros los ingerimos indirectamente, porque, a través de las cadenas tróficas, se incorporan a la biomasa marina, formando parte de animales que conforman nuestra dieta diaria (Lusher et al., 2017). Varias investigaciones

han demostrado la capacidad de los microplásticos de incorporarse a todos los órganos, con las consecuencias sanitarias que conlleva (Teuten et al., 2009). Además, a medida que se degradan, se lixivian sus aditivos, con capacidad de atravesar las paredes del tracto intestinal e incorporarse en nuestro organismo (Smith et al., 2018). Los productos químicos lixiviados también poseen una alta capacidad de bioacumulación (Teuten et al., 2009).

Ciertamente, el problema de los plásticos genera una gran controversia en nuestra sociedad. Por un lado, resuelven cuestiones importantes en nuestro día a día ya que son materiales indispensables en nuestro estilo de vida, pero, por otro lado, la ingente cantidad de residuos plásticos que generamos producen un problema de degradación ambiental.

1.2. Soluciones al problema: La escuela, generadora de cambio

Nuestra sociedad actual se mueve en un continuo desarrollo basado en la producción y el hiperconsumo (Mora, 2009) sumida en un modelo de crecimiento acelerado, sin tener en cuenta las consecuencias a medio o largo plazo que podrían generar los impactos sobre el medio ambiente derivados de nuestra forma de vivir (López, 1998). El poder de transformación antrópica del medio es elevado (Ceballos et al., 2015); nuestra actividad humana, parece estar reñida con la conservación del medio ambiente; y la degradación progresiva de nuestro entorno es uno de los grandes problemas al que debemos hacer frente. La preservación de nuestro planeta es, sin duda, uno de nuestros mayores desafíos (Gómez, 2020).

Entendiendo el desarrollo sostenible como la idea de hacer frente a las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las futuras generaciones (Gómez, 2020), la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó en 2015 una nueva hoja de ruta denominada “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (ODS) (Gil, 2018). Estos consisten en 17 grandes objetivos interdependientes: (1) Fin de la pobreza, (2) hambre cero, (3) salud y bienestar, (4) educación de calidad, (5) igualdad de género, (6) agua limpia y saneamiento, (7) energía asequible y no contaminante, (8) trabajo decente y crecimiento económico, (9) industria, innovación e infraestructura, (10) reducción de la desigualdades, (11) ciudades y comunidades sostenibles, (12) producción y consumo responsables, (13) acción por el clima, (14) vida submarina, (15) vida de ecosistemas terrestres, (16) paz, justicia e instituciones sólidas, y (17) alianzas para los objetivos; donde cada uno de ellos se encuentra definido en metas medibles mediante indicadores a alcanzar en el año 2030.

Es necesario hacer consciente a la ciudadanía de los problemas ambientales con los que convivimos, además de informarles sobre cómo deben ser afrontados. Tanto la educación formal, la no formal, como la informal pueden conectar los conocimientos adquiridos en la escuela con el mundo real y con estas cuestiones ambientales que mencionamos (Ramos & Torralbal, 2020), siendo un recurso poderoso contra la degradación ambiental. En este sentido, son necesarios planteamientos didácticos que apuesten por lograr una ciudadanía que conoce su entorno y con interés en implicarse en su conservación. Estas cuestiones presentan relevancia en la transición a la sostenibilidad (Ruiz, 2008).

Es, por esto, por lo que se mira a la escuela como generadora de cambio. Autores como Jaén, Esteve y Banos (2019) afirman que los docentes deben implicarse en tareas que generen concienciación ciudadana que les permitan afrontar estos problemas. Marcén y Molina (2006) creen que es necesario que desde la escuela surjan cambios de actitudes y comportamientos de los ciudadanos. Jaén y Palop (2011) definen la enseñanza como generadora de inquietudes y capacidades que debe dar respuesta a los problemas ambientales que describimos, así como promover las capacidades de los estudiantes para formar sus propias opiniones y que encuentren que sus actuaciones, por pequeñas que sean, influyen en el medio que les rodea.

La educación ambiental no es una cuestión ajena al currículo oficial. Es uno de los elementos transversales de nuestro sistema educativo, incorporando elementos relacionados con el desarrollo sostenible o el medioambiente. Dentro de los objetivos de la etapa de Educación Secundaria Obligatoria también encontramos aspectos como “valorar críticamente los hábitos sociales relacionados con la salud, el consumo, el cuidado de los seres vivos y el medio ambiente, contribuyendo a su conservación y mejora” (MEC, 2015). La educación ambiental debe estar dirigida a adquirir conocimientos científicos ambientales y, además, a formar valores, actitudes y normas de actuación ecológicamente favorables. Incorporar la educación ambiental al proceso de enseñanza y aprendizaje de nuestros jóvenes, los ciudadanos del futuro, podrá evitar el deterioro del planeta (Franco-Mariscal, 2014). Por ello, la educación ambiental trabaja intensamente para generar nuevas metodologías, técnicas y estímulos que contribuyan a desarrollar esos valores sociales orientados a que todas las disciplinas contribuyan a un desarrollo sustentable (Martínez, 2010).

Se trata de que la escuela en general y los docentes en particular, tomen partido en esta cuestión, de forma urgente, y apuesten por una educación que construya un futuro viable para nuestra humanidad y para el planeta al completo, donde nos desarrollemos de forma integral y sostenible con nuestro entorno.

1.3. Contexto normativo

Las normas de carácter legal que han regulado, ordenado y orientado esta Tesis Doctoral han sido las siguientes.

A nivel estatal:

- Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa (LOMCE), que modifica la Ley Orgánica de Educación 2/2006, de 3 de mayo (LOE).
- Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato.
- Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, en la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la Educación Primaria, la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato.

A nivel autonómico:

- Ley 17/2007, de 10 de diciembre, de Educación de Andalucía.
- Decreto 111/2016, de 14 de junio, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria.

Dentro de esta normativa se recogen aspectos relacionados con el desarrollo sostenible y el cuidado del medio ambiente, así como con cuestiones sobre el desarrollo del espíritu y sentido crítico.

En la actualidad, mucha de esta normativa ya no se encuentra en vigor, debido a la aprobación de la nueva ley educativa (LOMLOE).

1.4. Pensamiento crítico, educación científica y cuestiones ambientales

La educación científica tiene como objetivo introducir el activismo social en los estudiantes para que sean ciudadanos científicamente informados, socialmente responsables y capacitados para tomar decisiones razonadas respecto a actuaciones personales y cívicas relacionadas con la ciencia (Skamp et al., 2013).

En relación con esto, una de las grandes finalidades de la educación científica es el desarrollo del pensamiento crítico (Osborne, 2014). El pensamiento crítico es de vital importancia en nuestra sociedad, pues cada vez más estamos sometidos a un gran volumen de información que evoluciona rápidamente y no siempre aporta a la clarificación de los sucesos, dificultando su análisis y comprensión. Una sociedad con ciudadanos que piensan críticamente es una sociedad más libre, más participativa, competente en las cuestiones sociales y ambientales, reflexiva y con actitudes científicas (Hierrezuelo et al., 2022).

El pensamiento crítico es un constructo complejo y que traslada esta dificultad a la hora de abordarlo en el aula. Ennis (1987) lo definió como el pensamiento razonado y reflexivo que se centra en decir qué creer o qué hacer. La ejecución de este pensamiento depende de aspectos cognitivos, habilidades y disposiciones (Vieira & Tenreiro, 2016). Diferentes autores han propuesto distintas dimensiones que integran el pensamiento crítico. Lipman (1997) contempla la comprensión lectora, la expresión escrita y la escucha-expresión oral como habilidades básicas del pensamiento crítico. Santiuste et al. (2001) agrupan en la dimensión sustantiva las acciones de cada persona para dar razones y evidencias desde su punto de vista, y en la dimensión dialógica, el análisis e integración desde diferentes perspectivas contrapuestas a su propio punto de vista. Tenreiro y Marques (2006) mencionan capacidades de pensamiento crítico como la formulación de preguntas e hipótesis, la comprobación de estas explicaciones considerando otras alternativas y la comunicación de los resultados.

Blanco, España y Franco-Mariscal (2017), tomando como base las ideas de Solbes y Torres (2012) identificaron un conjunto de ocho dimensiones como referentes para el desarrollo del pensamiento crítico en problemas socio-científicos, como es el problema de los plásticos que se pretende abordar. Éstas son:

Capítulo 1. Marco teórico

- La visión de la ciencia, entendiendo ésta con múltiples relaciones con la tecnología, la sociedad y el ambiente.
- Los conocimientos, como la capacidad de estar informado de los temas a abordar, sin dejarse llevar por discursos dominantes y conociendo posturas alternativas.
- El análisis crítico de la información, evaluando las fuentes y teniendo en cuenta los intereses subyacentes.
- El tratamiento de los problemas, abordándolos de forma integral, teniendo en cuenta las implicaciones científicas, técnicas, éticas, culturales, sociales, ambientales, económicas, etc.
- La argumentación, creando argumentos sólidos y válidos basados en pruebas.
- La autonomía personal, desarrollando una opinión propia e independiente derivada de la reflexión.
- La toma de decisiones, haciendo elecciones racionales y juicios fundamentados para resolver problemas.
- La comunicación, transmitiendo las decisiones tomadas usando el lenguaje adecuado para el contexto y las intenciones.

Los aspectos relacionados con las disposiciones los entendemos como la propensión o la motivación general para hacer algo (Nieto & Saiz, 2008), lo cual se encuentra estrechamente vinculado con las tendencias personales, los prejuicios o las emociones (Prieto, 2018).

Las dimensiones propuestas en el enfoque de Blanco et al. (2017) son imprescindibles para comprender al completo el problema de los plásticos. Conocer las cuestiones químicas que conforman los plásticos, su estructura o sus propiedades físicas es fundamental para obtener una visión completa del problema de los plásticos, entendiendo todas sus relaciones con otros ámbitos como la tecnología, la economía, la sociedad y el medioambiente. Estos conocimientos también permiten comprender la lenta degradación de los mismos y sus efectos en el medioambiente, por ejemplo. Los estudiantes también deben formarse una opinión independiente, desarrollando la habilidad de autonomía personal, recopilando información de diferentes fuentes y analizándola críticamente. Otra de las habilidades es la toma de decisiones, que cada vez toma más relevancia en los problemas ambientales porque los ciudadanos se enfrentan en su vida diaria a situaciones relacionadas con la ciencia y la tecnología, cuyas repercusiones tienen un impacto tanto en los individuos como a nivel global, social, ético o económico. De ahí la importancia de abordar los problemas desde todas las perspectivas.

Montoya (2010) propone actividades donde se creen argumentos, se expongan ideas, se trate de buscar lo bueno o lo justo, buscando la verdad y escuchando los aportes de los demás participantes. Para el desarrollo del pensamiento crítico, también se debe apostar por actividades que posibiliten la discusión grupal sobre casos concretos que estén relacionados con problemáticas sociales. Dentro de estas discusiones debe haber espacio para la reflexión personal y la reflexión grupal.

Esta idea de desarrollar en los estudiantes habilidades que les permitan aprender y no centrar el aprendizaje en la mera transmisión de conocimientos, genera la necesidad de transformar instrumentos, estrategias y espacios que nos permitan crear y desarrollar estas cuestiones intelectuales de alta calidad (Ramírez, 2021).

1.5. Los problemas socio-científicos como eje central para trabajar habilidades de pensamiento crítico

Como se ha indicado, el pensamiento crítico es una cuestión compleja, por ello es importante preguntarnos qué estrategias o enfoques pueden ser adecuados para abordarlo en el aula y sobre qué temas trabajar.

Un enfoque interesante para abordar el pensamiento crítico en el aula es el uso de problemas socio-científicos (Hierrezuelo et al., 2022). Los problemas socio-científicos son cuestiones sociales, cuyas causas o posibles soluciones están relacionadas con la ciencia o la tecnología. Estos problemas son abiertos, complejos, controvertidos, reales, cercanos a los ciudadanos, no están resueltos y no tienen respuestas definidas (España & Prieto, 2009). Nuestro planeta presenta problemas complejos como el cambio climático o la pandemia por COVID-19, en las que es necesario que los ciudadanos tomen participación. Para ello, los estudiantes deben estar preparados para participar en estos foros sociales, pues son problemas que presentan un alto impacto en el bienestar de todos. Solbes (2013) afirma que para que se pueda considerar esta visión social, deben abordarse cuestiones con implicaciones sociales de una forma crítica.

Los problemas socio-científicos pueden ser muy diversos. Algunos ejemplos son el uso de la energía nuclear (Cruz, et al., 2020), el consumo del agua embotellada (Rodríguez & Blanco, 2009), la producción de combustibles biodiesel (Nidia et al., 2021), los problemas de contaminación y degradación ambiental (Cook, 2014).

La ventaja que nos aporta trabajar en el aula con problemas socio-científicos es que permiten trabajar habilidades relacionadas con el análisis crítico de la información, la toma de decisiones, los conocimientos, la visión de la ciencia, el tratamiento de problemas, la autonomía personal, la argumentación o la comunicación, es decir, desarrollar las diferentes dimensiones del pensamiento crítico propuestas por Blanco et al. (2017) con nuestros estudiantes.

Para seleccionar problemas socio-científicos adecuados con los que trabajar en el aula de secundaria es necesario salir del ámbito escolar y situarnos en la vida diaria de los jóvenes, asegurándonos de elegir problemas que sean relevantes para ellos y que a la vez estén relacionados con el currículo escolar. Tratar este tipo de problemas les otorga un sentido y una relevancia a lo que se hace en el aula de ciencias, promoviendo que los estudiantes se involucren de forma activa en su proceso de aprendizaje (Blanco et al., 2018).

Dentro de este amplio abanico de problemas, aquellos que están relacionados con el medioambiente pueden ser especialmente interesantes. Así, Patronis et al. (1999) descubrieron que los estudiantes desarrollaban mejor el pensamiento crítico y el

razonamiento cuando trabajaban con temas ambientales locales, buscando soluciones a estos problemas.

El problema ambiental de los plásticos se muestra ideal para trabajar el pensamiento crítico con nuestros estudiantes. El impacto que tienen los plásticos en la sociedad, el medioambiente, la economía, la tecnología e incluso, tras la pandemia podemos decir que en la salud también, es una realidad. Generan una controversia de actualidad que se encuentra abierta, sin resolver, pero que a la vez necesita de la toma de decisiones por parte de las administraciones públicas y la ciudadanía. Sin duda alguna, el problema de los plásticos no se puede solucionar memorizando información como se haría en una enseñanza tradicional. Los plásticos y su dimensión socio-científica es una cuestión suficientemente amplia y compleja que requiere del desarrollo de habilidades de pensamiento crítico (López-Fernández et al., 2021). Es necesario que estas habilidades se empleen para interpretar la situación, el mundo que nos rodea y actuar en estos problemas y conflictos de intereses que nos afectan de forma directa.

Este problema debe ser trabajado en el aula desde todas las perspectivas, permitiendo que los estudiantes aumenten sus conocimientos científicos los cuales les van a permitir comprender el problema y la complejidad a la que nos enfrentamos, que analicen la información que se publica al respecto, determinando la calidad y los intereses subyacentes que se ocultan bajo algunos titulares, que comprendan el problema de forma integral, tomando conciencia de la vinculación que tiene la ciencia con otros aspectos sociales o económicos, desarrollando una opinión propia sobre los plásticos, adecuadamente argumentada, que tomen decisiones con fundamentación científica, y que sean capaces de comunicarla.

1.6. Contribución de la Tesis Doctoral a la literatura

A pesar de la importancia y necesidad de llevar a cabo actuaciones educativas ambientales, la literatura refleja que actualmente no se están empleando tanto en la práctica educativa como sería deseable, existiendo una escasez de propuestas, recursos y metodologías destinadas a ello (Ramos & Torralba, 2020; López-Fernández, et al., 2022). Además, resulta necesario realizar un enfoque integrador entre los elementos físico, ecológicos y sociales del medio natural porque ayudan a la preservación del ambiente y de la vida de las personas que viven en él. Sin embargo, los estudios en esta línea son también limitados e indican que es necesario continuar trabajando sobre este camino (Fernández, 2008).

En cuanto a los conocimientos sobre los plásticos, un estudio preliminar de esta doctoranda y sus directores de Tesis reflejó que los y las estudiantes de educación secundaria presentan dificultades de aprendizaje en este tema de los plásticos y su relación con el ambiente y la salud. Concretamente, asuntos como el origen de la contaminación por plásticos, el entendimiento del concepto de microplástico o la presencia de éstos en el estómago humano son cuestiones que no mejoran al avanzar en los cursos de educación secundaria obligatoria (López-Fernández et al., 2021).

Sumado a ello, el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico tampoco es una práctica educativa muy habitual en las aulas, destacando algunos autores que el propio concepto es complejo y difícil de concretar en la práctica docente (Bailin, 2002). El desarrollo de las habilidades de pensamiento crítico en el aula de secundaria es una necesidad, pero a la vez supone un desafío para el profesorado.

La novedad de esta Tesis Doctoral radica precisamente en estas premisas: desarrollar habilidades de pensamiento crítico en estudiantes de secundaria a través del problema ambiental de los plásticos. En definitiva, se trata de un reto educativo urgente para formar estudiantes, los futuros ciudadanos y ciudadanas, que conozcan la situación de emergencia ambiental en la que se encuentra nuestro planeta, entendiendo el problema en su complejidad, de forma integral, con capacidad de evaluar la credibilidad de la información, cuestionar la validez de los argumentos, detectar y rechazar las falacias argumentativas, crear argumentos sólidos, desarrollar opiniones independientes derivadas de la propia reflexión, tomar decisiones con fundamentación científica y comunicar de forma adecuada sus decisiones. Es decir, formar ciudadanos empoderados para poder reflexionar e influir en temas sociales relevantes para sus vidas (Jiménez-Aleixandre, 2007).

Esta Tesis Doctoral se desarrolla dentro del Proyecto de I+D+i del Plan Nacional del Gobierno de España, referencia PID2019-105765GA-I00, titulado «*Ciudadanos con pensamiento crítico: Un desafío para el profesorado en la enseñanza de las ciencias*», financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación en 2019, y está encaminada a presentar los resultados del diseño, implementación y evaluación de una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje que concreta actividades y prácticas científicas para desarrollar habilidades de pensamiento crítico en estudiantes de educación secundaria obligatoria, sobre el problema socio-científico de los plásticos y la contaminación ambiental.

Capítulo 2. Objetivos y preguntas de la investigación

Capítulo 2. Objetivos y preguntas de investigación

Esta Tesis Doctoral plantea dos objetivos generales de investigación, que se desglosan en distintos objetivos específicos:

- Objetivo general 1. Realizar una revisión sistemática de la literatura para conocer si la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales (en adelante DCE) publicada a nivel nacional e internacional en la última década (2010-2019) está abordando y contribuyendo a mejorar el problema de los plásticos.

Objetivos específicos:

(1.1). Identificar y describir la investigación e innovación educativa sobre plásticos publicada en la última década en una selección de revistas científicas españolas e internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales.

(1.2). Analizar la influencia de dicha investigación en el conjunto de publicaciones consideradas.

(1.3). Explorar el grado de participación del profesorado de ciencias no universitario en dichas investigaciones.

(1.4). Conocer la proporción de publicaciones realizadas entre profesorado universitario de Didáctica de las Ciencias Experimentales y no universitario, los contenidos abordados y las metodologías empleadas.

(1.5). Valorar críticamente en qué medida la investigación educativa actual nacional e internacional está contribuyendo a dar una respuesta a este problema ambiental.

- Objetivo general 2. Diseñar, implementar y evaluar una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje centrada en la contaminación ambiental por plásticos que permita desarrollar habilidades de pensamiento crítico a través de distintas estrategias en estudiantes de 2º de E.S.O.

Objetivos específicos:

(2.1). Valorar cómo el problema socio-científico de los plásticos puede contribuir a desarrollar habilidades de pensamiento crítico en las distintas actividades planteadas en una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje sobre este tema.

(2.2). Analizar las habilidades de pensamiento crítico (visión de la química y conocimientos) que los estudiantes de secundaria desarrollan en una actividad de indagación sobre la degradación ambiental de plásticos, incluida en la Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje.

(2.3). Analizar las habilidades de pensamiento crítico (argumentación y toma de decisiones) y disposiciones (percepciones y emociones) que los estudiantes de secundaria desarrollan en una actividad de juego de rol sobre la prohibición de plásticos de un solo uso, incluida en la secuencia de enseñanza-aprendizaje.

Capítulo 2. Objetivos y preguntas de investigación

Para los distintos objetivos se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- a) ¿Qué proporción de la investigación e innovación en Didáctica de las Ciencias Experimentales de la última década (2010-2019) se centra en el problema de los plásticos? (Objetivos específicos 1.1 y 1.2).
- b) ¿En qué medida el profesorado de ciencias no universitario participa en publicaciones especializadas en Didáctica de las Ciencias Experimentales sobre esta temática? (Objetivo específico 1.3).
- c) ¿Existe una colaboración frecuente en estas investigaciones entre profesorado especialista en Didáctica de las Ciencias Experimentales y profesorado de ciencias no universitario? (Objetivo específico 1.3).
- d) ¿Qué contenidos de los plásticos abordan estos estudios, con qué metodología y enfoque de enseñanza? (Objetivos específicos 1.4 y 1.5).
- e) ¿Cómo puede contribuir el problema socio-científico de los plásticos a desarrollar habilidades de pensamiento crítico en las distintas actividades planteadas en una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje sobre este tema? (Objetivo específico 2.1).
- f) ¿Qué ideas iniciales e hipótesis plantean los estudiantes sobre la degradación de plásticos expuestos a la intemperie? (Objetivo específico 2.2).
- g) ¿Qué cambios en los plásticos observan los estudiantes a lo largo del tiempo al desarrollar la indagación? ¿Qué modelos explicativos proponen para justificar los cambios observados? (Objetivo específico 2.2)
- h) ¿Cómo explican la degradación producida en los plásticos durante el tiempo de exposición? ¿Qué conclusiones obtienen? (Objetivo específico 2.2).
- i) ¿Cómo vinculan los resultados obtenidos en su indagación con los efectos ambientales? (Objetivo específico 2.2).
- j) ¿Qué decisiones toman los estudiantes con respecto a la prohibición de los plásticos de un solo uso antes y después de participar en el juego de rol? ¿Cómo argumentan posibles cambios en su decisión? (Objetivo específico 2.3).
- k) ¿Cuáles son las percepciones de los estudiantes sobre el juego de rol y de su comprensión sobre los plásticos antes y después de la actividad? (Objetivo específico 2.3).
- l) ¿Qué tipo de emociones aparecen en los estudiantes durante el juego de rol? (Objetivo específico 2.3).

Capítulo 3. Estructura y contexto de la investigación

Capítulo 3. Estructura y contexto de la investigación

3.1. Estructura de la investigación

Esta Tesis Doctoral se presenta por la modalidad de compendio de artículos, concretamente con un total de cuatro publicaciones, donde cada una de ellas constituye un capítulo de esta memoria.

El primer artículo comienza con una revisión de la literatura que pretende establecer una visión general de las publicaciones sobre plásticos en Didáctica de las Ciencias Experimentales, tanto a nivel nacional como internacional, en la última década (2010-2019) en una selección de revistas relevantes en el área. Este trabajo se encuentra publicado en *Revista de Educación*, y aborda el objetivo general 1, los objetivos específicos 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 de esta Tesis, y da respuesta a las preguntas de investigación a), b), c) y d).

El segundo artículo reflexiona sobre cómo los problemas socio-científicos pueden contribuir al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico desde la perspectiva del enfoque de Blanco et al. (2017). Este describe también el diseño de la Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje sobre plásticos y contaminación ambiental. Se encuentra publicado como artículo en *Journal of Chemical Education* y trata de alcanzar el objetivo general 2, el objetivo específico 2.1 y la pregunta de investigación e).

El lector interesado puede consultar una versión más amplia de la Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje en un capítulo de libro publicado por la editorial Graó, que se recoge como Anexo 1.

Los artículos tercero y cuarto presentan los resultados de dos actividades incluidas en la Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje que hemos considerado de interés en cuanto a las habilidades de pensamiento crítico que permiten desarrollar.

De este modo, el tercer artículo aborda la actividad de indagación sobre degradación de plásticos en la que las y los estudiantes ponen de manifiesto sus ideas iniciales y habilidades de pensamiento crítico como la visión de la química relacionando los resultados de su indagación con los efectos ambientales, los conocimientos o la comunicación de conclusiones. Este estudio está publicado en la revista *Educación Química* y concierne al objetivo general 2, el objetivo específico 2.2 y las preguntas de investigación f), g), h) e i).

El cuarto y último artículo profundiza en la actividad de juego de rol sobre la prohibición de plásticos de un solo uso. Este trabajo presenta el diseño de la actividad, su implementación y los avances producidos en las habilidades de pensamiento crítico de argumentación y toma de decisiones, y también en las disposiciones (percepciones y emociones). Esta investigación se publicó en *Journal of Chemical Education*, y da respuesta al objetivo general 2, al objetivo específico 2.3, y a las preguntas de investigación j), k) y l).

Finalmente, el Anexo 2 recoge un capítulo de libro publicado en el Libro de Actas del Congreso Internacional IV Encontró Nacional de Jogos e Actividades Lúdicas no Ensino de Química, Física e Biologia (Jalequim), donde se pueden consultar algunos resultados,

Capítulo 3. Estructura y contexto de la investigación

percepciones y emociones sobre la actividad de audiocuentos, otra de las actividades incluidas dentro de la Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje planteada.

A modo de síntesis, toda esta información se recoge en la Tabla 1.

Tabla 1. Estructura de la investigación y correspondencia con la memoria de Tesis Doctoral

Estructura de la investigación		Capítulos de la memoria	
Revisión de la literatura		Artículo 1. Plásticos: revisión bibliográfica en Didáctica de las Ciencias Experimentales (2010-2019).	
Diseño, implementación y evaluación de una secuencia de enseñanza-aprendizaje	Explicación, realización de murales y exposiciones sobre tipos de plásticos, propiedades y aplicaciones.	Artículo 2. How can socio-scientific issues help develop critical thinking in chemistry education? A reflection on the problem of plastics Anexo 1. Desarrollo de prácticas científicas en una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre la contaminación por plásticos en educación secundaria obligatoria	
	Realización de modelos sobre composición y estructura de los plásticos		
	Indagación sobre degradación natural de plásticos		Artículo 3. Indagación sobre la degradación de plásticos con estudiantes de secundaria
	Juego de rol sobre plásticos de un solo uso		Artículo 4. Should We Ban Single-Use Plastics? A Role-Playing Game to Argue and Make Decisions in a Grade-8 School Chemistry Class
	Audiocuentos sobre plásticos		Anexo 2. El audiocuento como recurso didáctico para abordar los plásticos y la contaminación en educación secundaria obligatoria

Capítulo 3. Estructura y contexto de la investigación

3.2. Contexto educativo

La implementación de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje se llevó a cabo con un total de 92 estudiantes de 1º, 2º y 3º de Educación Secundaria Obligatoria (E.S.O.). Concretamente, del primer curso hubo un total de 32 estudiantes (14 chicas y 19 chicos), repartidos en dos grupos clase, con edades comprendidas entre 12 y 13 años. Del segundo curso, también repartidos en dos grupos, fueron un total de 35 participantes (22 chicas y 13 chicos), con edades comprendidas entre los 13 y 14 años. Y del tercer curso, 24 estudiantes (15 chicas y 9 chicos) de edades comprendidas entre 14 y 15 años. Estos cursaban las asignaturas de Biología y Geología (1º y 3º E.S.O.) y Física y Química (2º E.S.O.), todas ellas obligatorias en esta etapa educativa, y el tema elegido a tratar fue los plásticos y la contaminación.

La implementación de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje se inició en el curso 2019-2020. El curso comenzó con total normalidad, sin embargo, en el mes de marzo, con la declaración de la pandemia mundial y el posterior confinamiento de la población, se adaptaron las actividades al formato virtual. Con ello, algunos participantes no siguieron las clases con normalidad, por lo que no se pudieron registrar sus producciones en todas las actividades.

Debido al gran volumen de datos recogidos, se decidió focalizar el análisis de los datos sobre algunos grupos clase. Concretamente, sobre los grupos de 2º E.S.O., donde menos disminuyó el número de participantes durante las clases virtuales.

Capítulo 3. Estructura y contexto de la investigación

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

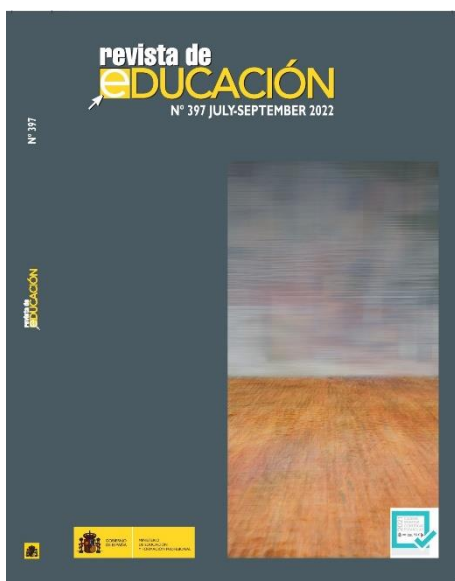
Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Artículo 1. Plastics: A literature review in science education (2010-2019)

Datos de la publicación



Tipo de publicación: Artículo

Título: Plastics: A literature review in science education (2010-2019)

Autores:

María del Mar López Fernández, Francisco González García y Antonio Joaquín Franco-Mariscal

Año: 2022

Revista: Revista de Educación

Volumen: 397

Páginas: 261-292

DOI: <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2022-397-547>

Enlace:

<https://recyt.fecyt.es/index.php/Redu/article/view/94923>

Idiomas del artículo: Inglés y castellano.

Indicadores de calidad:

- Base de datos: **WOS (JCR)**.
Journal Impact Factor (JIF, 2021).
Categoría: Education & Educational Research.
Factor de impacto: Journal Citation Indicator (JCI, 2021): 1.217.
Cuartil: Q4 (231/267) (2021).
- Base de datos: **SJR (Scopus)**.
Categoría: Educación.
Cuartil: Q3 (2021).
Factor de impacto: 0.338.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Objetivos y preguntas de investigación que responde el artículo:

Objetivo general 1. Realizar una revisión sistemática de la literatura para conocer si la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales publicada a nivel nacional e internacional en la última década (2010-2019) está abordando y contribuyendo a mejorar el problema de los plásticos.

Objetivos específicos:

- (1.1). Identificar y describir la investigación e innovación educativa sobre plásticos publicada en la última década en una selección de revistas científicas españolas e internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales.
- (1.2). Analizar la influencia de dicha investigación en el conjunto de publicaciones consideradas.
- (1.3). Explorar el grado de participación del profesorado de ciencias no universitario en dichas investigaciones.
- (1.4). Conocer la proporción de publicaciones realizadas entre profesorado universitario de Didáctica de las Ciencias Experimentales y no universitario, los contenidos abordados y las metodologías empleadas.
- (1.5). Valorar críticamente en qué medida la investigación educativa actual nacional e internacional está contribuyendo a dar una respuesta a este problema ambiental.

Preguntas de investigación:

- a) ¿Qué proporción de la investigación e innovación en Didáctica de las Ciencias Experimentales de la última década (2010-2019) se centra en el problema de los plásticos? (Objetivos específicos 1.1 y 1.2).
- b) ¿En qué medida el profesorado de ciencias no universitario participa en publicaciones especializadas en Didáctica de las Ciencias Experimentales sobre esta temática? (Objetivo específico 1.3).
- c) ¿Existe una colaboración frecuente en estas investigaciones entre profesorado especialista en Didáctica de las Ciencias Experimentales y profesorado de ciencias no universitario? (Objetivo específico 1.3).
- d) ¿Qué contenidos de los plásticos abordan estos estudios, con qué metodología y enfoque de enseñanza? (Objetivos específicos 1.4 y 1.5).

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Abstract

Although plastics form part of everything that surrounds us due to their excellent properties, they also represent an environmental problem that requires an educational response. This paper presents an exploratory and descriptive study of the educational research published in this field, both nationally and internationally, over the past decade using the PRISMA declaration for systematic reviews. The analysis was performed using a selection of journals with confirmed quality indices in science education (six Spanish and four international). For each study, the authorship, nature (research or innovation), plastics-related content, educational level (infant, primary, secondary or university), methodology used (quantitative, qualitative or mixed) and teaching focus (propedeutic or competence-based) were analysed. The review shows that such studies are in the minority in the literature analysed, not exceeding 3.4% nationally or 2.3% internationally, with educational research accounting for the majority of studies. With regard to the content covered, the composition and properties of plastics predominate, with studies related to environmental awareness or solutions to the problem, which are considered to be key, receiving relatively little attention. It is also seen that the authorship of non-university teachers is relatively low and that qualitative methodologies are used most often. Moreover, the transmission of content rather than competence-based teaching predominates. The above suggests that the problem of plastics remains a challenge in teaching.

Key words: *plastics, literature review, educational research, educational innovation*

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

1. Introduction

The first synthetic plastic, namely Bakelite, was synthesised in the early 20th century. Since the 1960s, the ever-increasing demand of an increasingly consumer-oriented society has resulted in a significant increase in plastics production worldwide, reaching a value of 322 million metric tonnes in 2015 (Lusher, Hollman and Mendoza, 2017). Indeed, plastics have helped to preserve health, improve transport, technological development or ecological performance, integrating themselves into our society, where they form part of almost everything around us and have gradually replaced other materials (Lusher et al., 2017). Their success resides in the fact that they are cheap, lightweight and exhibit high thermal and mechanical resistance (Elías, 2015).

However, this frenetic consumption has led to the large-scale generation of waste and its presence in our oceans (Jaén, Esteve and Banos, 2019), and this is the main problem of plastics: their sustainability as they are manufactured to be long-lasting. It is estimated that 8 million metric tonnes of plastics reach the oceans every year (Smith, Love, Rochman and Neff, 2018). Their main effects are physical, such as choking, asphyxia or injury to marine organisms (Eriksen, Maximenko and Thiel, 2013). Natural forces subsequently fragment them to form microplastics (Smith et al., 2018), which enter the food chain and are incorporated into marine biomass, including food destined for human consumption (Lusher et al., 2017). Moreover, as they are degraded, their additives, some of which are able to cross the walls of the intestinal tract, leach out (Smith et al., 2018).

During the World Ocean Summit in 2017, the United Nations Environment Programme (UNEP) proposed to eliminate microplastics and single-use plastics as the main sources of marine waste by 2022, and this was followed by the prohibition of single-use plastics in Europe in 2021 (Koch and Barber, 2019). Recently, environmental activist movements worldwide (Thunberg, 2019) forced the Climate Summit 2019 to reconsider measures for waste management, eliminate single-use plastics in countries outside the European Union (United Nations, 2019) or the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) proposed by the United Nations (Gamboa, 2015).

Plastics contamination has become an environmental problem (Torres, 2019) that requires a response from all areas, including education. The aim of scientific education is to introduce social activism to students so that they become scientifically aware and socially responsible citizens who are able to make reasoned decisions as regards personal and civic science-related actions (Skamp, Boyes and Stanisstreet, 2013).

Several authors have demanded a response from schools. Thus, for Jaén et al. (2019), educators should play a role in raising citizens' awareness to allow them to face up to these problems, whereas Marcén and Molina (2016) consider that the change of citizens' attitudes and behaviours must come from the school. Jaén and Palop (2011) consider teaching to be a generator of worries and skills that must provide a response to these environmental problems, and should encourage students to form their own opinion and understand that their actions, however small, may affect their environment.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

In conclusion, this is an urgent educational challenge to achieve a prepared and active population that is aware of, and takes measures against, this environmental problem. As such, we should ask ourselves whether the Science Education (SE) research published nationally and internationally is covering and contributing to resolving this problem. The following questions need to be asked:

- What proportion of research and innovation in SE over the past decade has covered the problem of plastics?
- To what extent do non-university science teachers participate in specialised SE publications covering this topic?
- Is there a frequent collaboration between specialist SE teachers and non-university science teachers in these studies?
- What plastics-related content is covered in these studies, and using what methodology and teaching focus?

2. Objectives

To answer the questions posed above, an exploratory and descriptive study of the current state of SE research in the field of plastics, published both nationally and internationally, was performed. The following objectives were established:

- To identify and describe the teaching research and innovation in the field of plastics published in the past decade in a selection of Spanish and international SE scientific journals.
- To analyse the influence of this research on the set of publications considered.
- To examine the degree of participation of non-university science teachers in those studies.
- To determine the proportion of articles published by university and non-university SE teachers, the contents covered and the methodologies used.
- To critically assess to what extent current national and international educational research is contributing to a response to this environmental problem.

3. Method

A literature review was performed using the journals listed in Table 1. The selection thereof was justified by the fact that they are all specialised SE journals. The selection criteria for the international journals was being in the first or second quartile of the JCR and SJR for several years of the decade studied. With regard to national SE journals, this criterion is very strict and none of them comply with it, therefore those journals that best reflect the state of the art in SE, with a marked influence in an Ibero-American context and which had been used in other reviews (Manchón and García-Carmona, 2018), were selected. Many of these national journals have the FECYT quality seal and are indexed in the JCR, SJR, ESCI WOS or Latindex.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Table 1. Journals selected and scientific quality indicators (highest position in the decade)

Journal	JCR-SSCI Quartile (Impact Factor)	SJR	FECYT Quality Seal	Latindex Characteristics Met	INRECS- Education
National					
Enseñanza de las Ciencias (<i>EC</i>)	Q3 (1.183)	Q2 (0.52)	Yes	34	Q1
Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias (<i>REEDC</i>)	ESCI WOS	Q2 (0.48)	Yes	35	Q1
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (<i>REEC</i>)	-	-	No	26	Q1
Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales (<i>ALB</i>)	-	-	Yes	32	Q1
Investigación en la Escuela (<i>IE</i>)	-	-	No	30	Q1
Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales (<i>DCES</i>)	ESCI WOS	-	No	32	Q1
International					
Science Education (<i>SE</i>)	Q1 (3.50)	Q1 (5.31)			
Chemistry Education Research and Practice (<i>CERP</i>)	Q1 (2.09)	Q1 (1.03)			
International Journal of Science Education (<i>IJSE</i>)	Q1 (1.51)	Q1 (1.94)			
Journal of Chemical Education (<i>JCE</i>)	Q2 (1.75)	Q2 (0.47)			

The review covered the period 2010 to 2019, both inclusive, which should give an overview of current SE research. The phases proposed in the PRISMA Declaration (Urrútica and Bonfill, 2010) for systematic literature reviews were followed (Figure 1). Phase 1 involved the search for articles with *plásticos/plastics* in the title, abstract, key words or text of the manuscript. The journals' own search engines were used [1], and for those for which all results were not available or not shown, search engines such as Google Academic or university databases were used [2], always using boolean operators. To

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

ensure that the search was complete, the electronic version of all publications were reviewed [3]. Duplicate publications were eliminated in phase 2, and articles in languages other than Spanish or English were discarded in phase 3. The suitability parameters for articles were decided in phase 4 based on the premise that they must be related to some aspect of plastics.

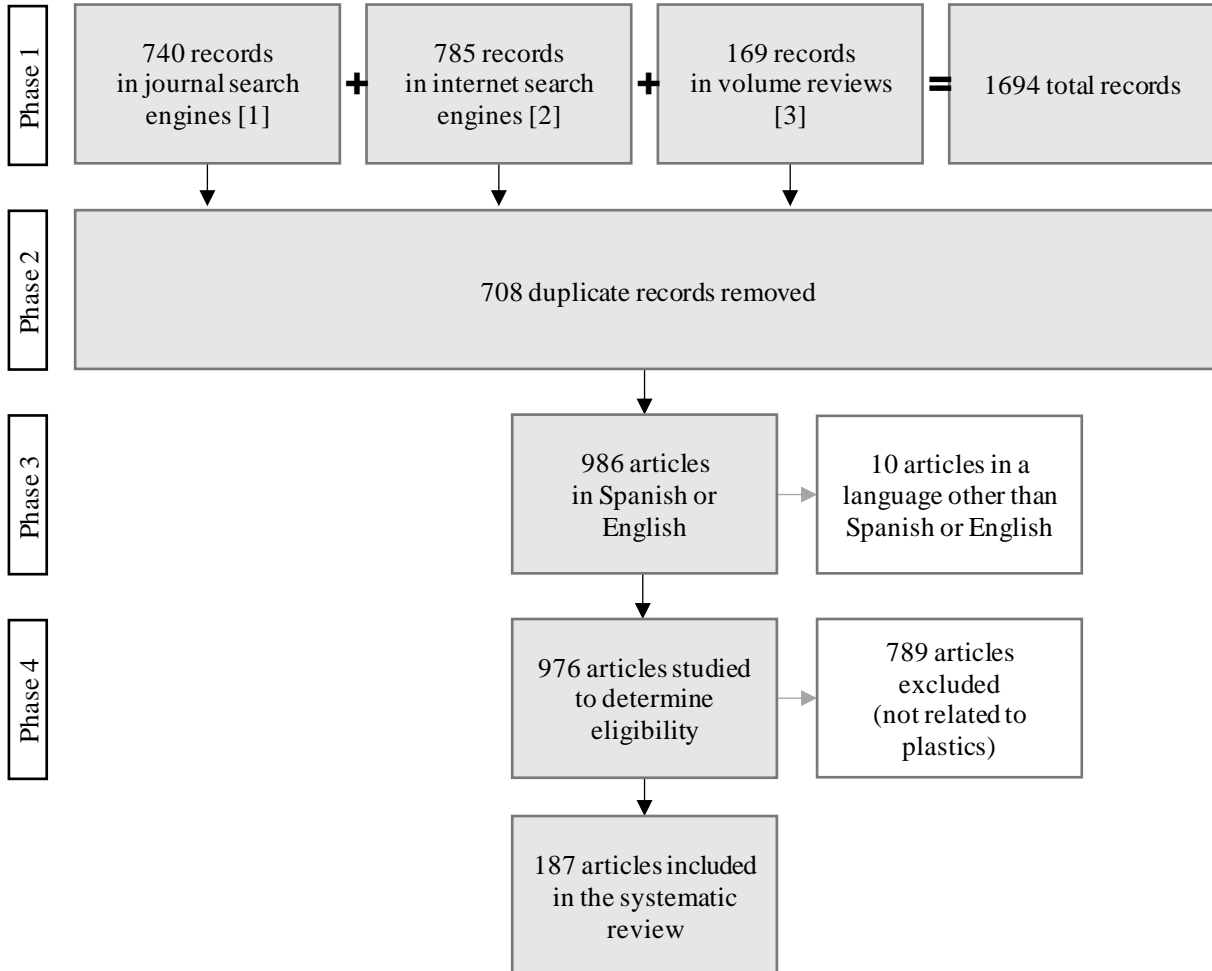


Figure 1. Literature review according to the PRISMA Declaration (Urrútica and Bonfill, 2010)

The frequency of the articles selected was determined by journal and the percentage corresponding to the total number of studies published in that journal.

After reading the studies, the lead author of this study proposed a categorisation of each article based on the following:

- Authorship of the study. The number of authors, their educational level, contributions by each author and mix thereof were analysed.
- Nature of the study: They were categorised as educational research, educational innovation or other, based on the section of the journal in which they were published, and if this was not available, the characteristics of the study presented.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- Topics covered: The categories proposed in a previous study with secondary-school students (López-Fernández, González and Franco-Mariscal, 2021), which showed that they would like to learn about plastics, were used (Table II).

Table 2. Categories for analysing plastics-related content

Category	Content
Composition and properties of plastics	Synthesis, manufacture, origin, degradation physicochemical properties of plastics.
Contamination of the environment by plastics	Environmental aspects due to contamination by plastics, final destination, consequences, biodiversity, etc.
Solution to the problem	Possible solutions, collection of plastics, recycling, etc.
Environmental awareness	Attempts to produce changes of attitude or behaviour with regard to plastics

- Educational level. The categories were infant, primary, secondary or university education, or not known.
- Methodologies used. As a large number of educational innovations did not follow the structure of a research project, for studies related to educational research the methodology (quantitative/qualitative/mixed), study type and instruments used were analysed.
- Teaching focus. The scientific teaching approaches were categorised as propedeutic or competence-based.

On the basis of that proposal, the other two authors performed their own assessment, indicating their agreement, doubts or disagreement. Studies for which there was no agreement were discussed until a consensus was reached.

4. Results

4.1. Plastics-related publications in the past decade

With regard to the plastics-related articles published between 2010 and 2019 (187), a clear difference was observed between those published nationally (45) and internationally (142). The distribution per year is shown in Figure 2.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

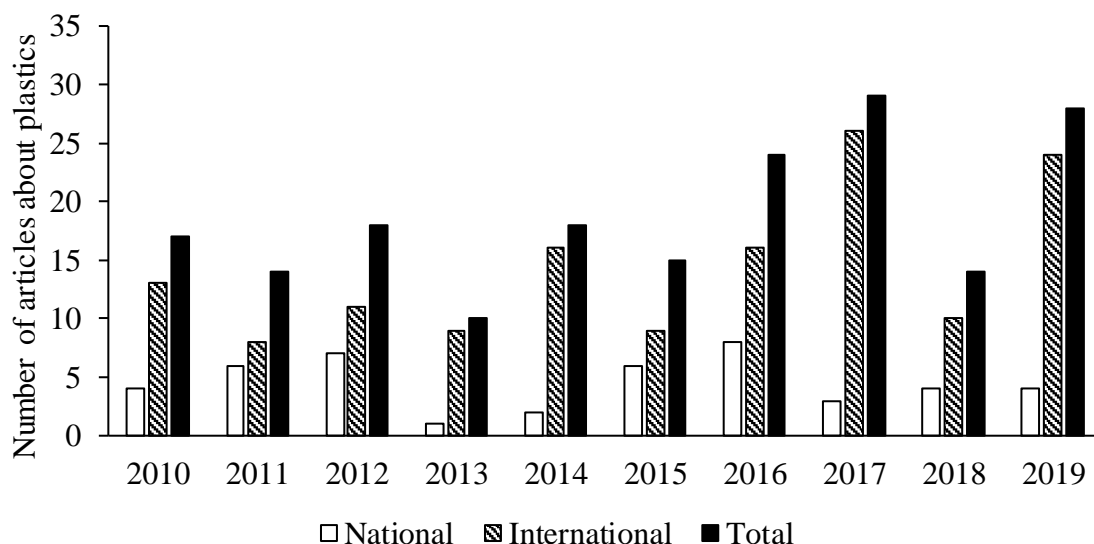


Figure 2. Distribution of plastics-related publications by year (2010–2019)

No clear trend in the evolution of the number of articles published was observed in either context, with the largest number of articles being published internationally in 2017 and 2019 and nationally in 2016.

To determine whether this number was high or low, it was compared with the total number of articles published in each journal. The national study (Figure 3) showed that *REEDC* and *ALB* published the most articles, with *DCES* publishing just one.

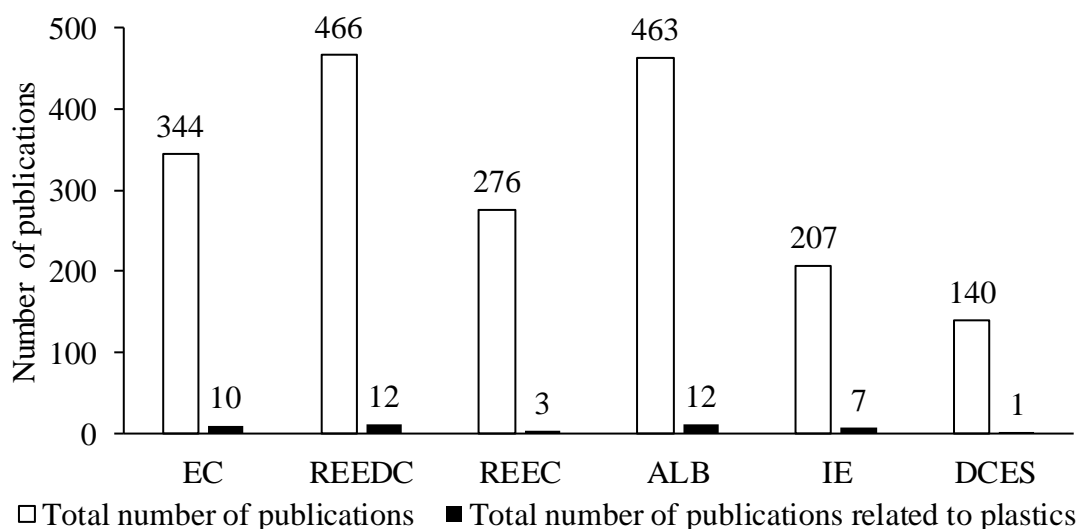


Figure 3. Articles published in each national journal (2010–2019)

Internationally (Figure 4), almost all the journals selected published at least the minimum number of articles (12) found in Spanish journals. The highest number of plastics-related studies (91) were published in a chemical education journal (*JCE*), followed by *IJSE* (28).

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

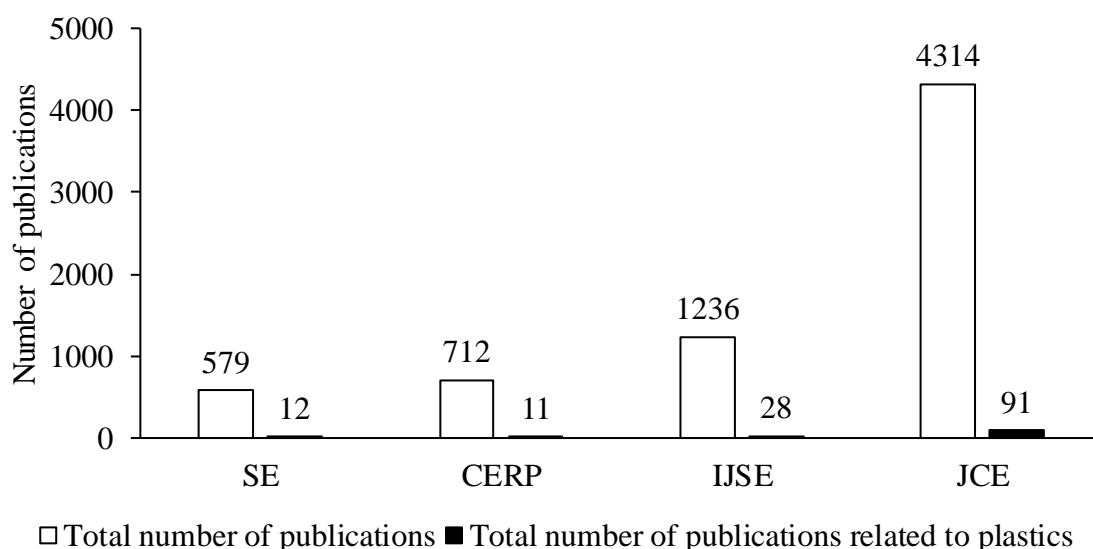


Figure 4. Articles published in each international journal (2010–2019)

The percentage of articles reviewed with respect to the total (Table 3) shows that, irrespective of their context, all journals analysed were in the range 0.7–3.4%.

Table 3. Plastics-related publications with respect to all articles in the journal

Journal	Title	Frequency	Percentage
National (N=45)	EC	10	2.9
	REEDC	12	2.6
	REEC	3	1.1
	ALB	12	2.6
	IE	7	3.4
	DCES	1	0.7
International (N=142)	SE	12	2.1
	CERP	11	1.5
	IJSE	28	2.3
	JCE	91	2.1

The journals with the highest percentage of plastics-related articles published were *IE* nationally (3.4%) and *IJSE* internationally (2.3%). In addition, it is noteworthy that, with the exception of *REEC* and *DCES*, Spanish journals made a greater contribution to this field than their international counterparts over the period studied.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

4.2. Authorship of publications

Table 4 presents various authorship-related aspects.

Table 4. Characteristics of authors

		National Journals (N=45)		International Journals (N=142)		Total (N=187)	
		Frequency	%	Frequency	%	Frequency	%
Authors	One	11	24.4	25	17.6	36	19.3
	Two or three	30	66.7	62	43.7	92	49.2
	More than three	4	8.9	55	38.7	59	31.6
Educational level of teacher	Primary	3	3.0	2	0.4	5	0.8
	Secondary	21	20.8	23	4.7	44	7.4
	University SE	40	39.6	59	12.0	99	16.7
	University, other speciality	33	32.7	388	79.0	421	70.9
	Others (research centre, healthcare centre, foundation)	4	4.0	21	4.3	25	4.2
Contributions	One article	76	87.4	443	95.3	518	94.0
	Two or three	11	12.6	21	4.5	32	5.8
	More than three	0	0.0	1	0.2	1	0.2
Mix	One author*	11	24.4	26	18.3	37	19.8
	Same educational level	23	51.1	86	60.6	109	58.3
	Different educational level	11	24.4	30	21.1	41	21.9

*Mix not considered for articles submitted by a single author

Publications with two or three authors predominate both nationally and internationally (49.2%). Publications with a single author are less common in international journals (17.6%) but not in Spain (24.4%). Studies with more than three authors are more common internationally (38.7%).

The majority of authors are university lecturers (87.6%) and usually from areas unrelated to SE (70.9%), therefore the didactic treatment applied to the problem may differ from approaches in the SE field. Fortunately, the Spanish context is an exception as authorship

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

is shared more evenly between SE university lecturers (39.6%) and those from other subjects (32.7%).

The participation of secondary school teachers is low (7.4%) even though their contributions are essential. However, a marked difference is seen between national (20.8%) and international journals (4.7%), thus highlighting the implication of Spanish secondary school teachers.

In addition, 94% of authors published just one paper, with those appearing on two or more publications being essentially non-existent. With regard to the mix of authors, the collaboration between authors from the same educational level, mostly university-based (58.3%), should be noted. A substantial collaboration between university lecturers and lower educational levels is not seen (21.9%).

4.3. Nature of the studies

The nature of the studies is very similar both nationally and internationally. Thus, educational research accounts for the majority of studies (55.5% national and 54.2% international), followed by educational innovations (31.1% national and 32.4% international) and other studies (highlight, literature review or essays; 13.3% national and 13.4% international).

4.4. Content covered

Figure 5 shows the percentages for each category of content (Table 2) covered in the studies. The distribution of topics is similar both nationally and internationally, with the category *Composition and properties of plastics* clearly representing the largest number (63.4%). This category is somewhat more popular internationally (66.7%) than nationally (50%). The limited number of studies concerning *Environmental awareness* (10.7–13.9%) and *Solutions to the problem* (8.3–9.3%) should be noted.

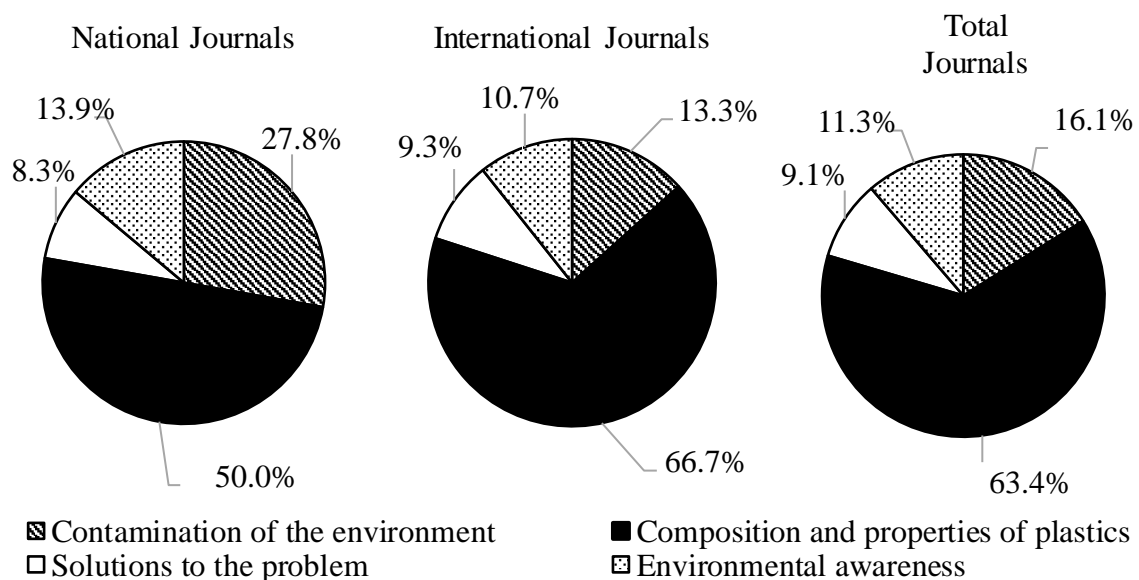


Figure 5. Percentage of publications by content

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Our analysis showed that 61.1% of publications concern the secondary level, followed by university level (17.1%, Figure 6). Two types of study are found for the latter: teachers undergoing initial training (students taking a Degree in Primary Education Teaching or a Masters in Secondary Education Teaching), and those with professional futures in which plastics play an important role (students taking a Degree in Environmental Science, engineering degrees, etc.). The limited number of studies involving children aged less than 12 years is noteworthy.

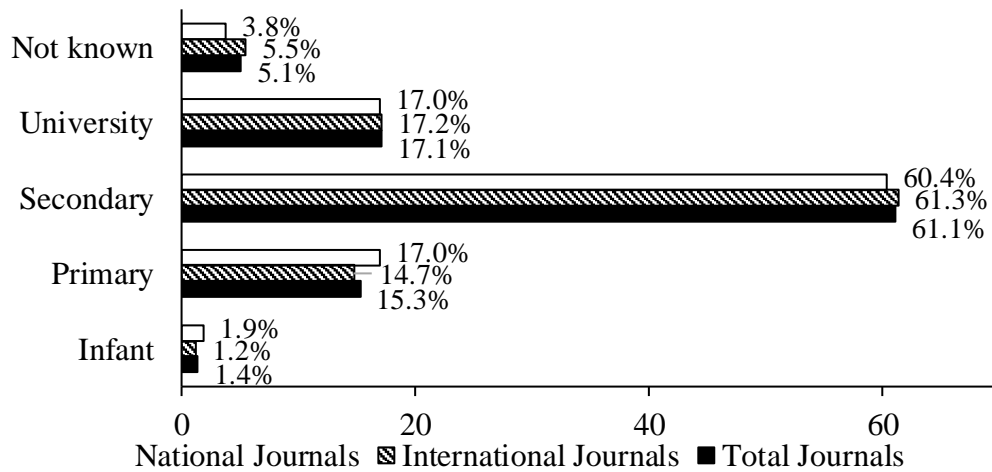


Figure 6. Percentage of articles by educational level

4.5. Methodologies used

The main type of research in national educational research studies is qualitative (60%), compared with quantitative (24%) or mixed (16%). In contrast, internationally, there is a better balance between the use of qualitative (39%), quantitative (31.2%) and mixed (29.8%) methodologies (Figures 7, 8, y 9X).

The most common studies are descriptive (52.8%), followed by exploratory (25.9%), case studies (13%) and correlational (4.6%). Other minority studies are explanatory (2.8%) and interpretative (0.9%).

The most widely used instrument is any type of knowledge test (54%; open or closed questions, mixed, exams, etc.), of which 18.1% are pre-/post-test. Although tests are commonly used in combination with other instruments (71.2%), they were used alone in 23.8% of cases and combined with others in 33.3%. The second most widely used instrument is direct observation (20%), including daily observation (27.9% for this instrument), audio and/or video records (18%) or others. Interviews, productions by participants, portfolios, focal groups or educational curricula and text books are used in less than 11% of articles.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

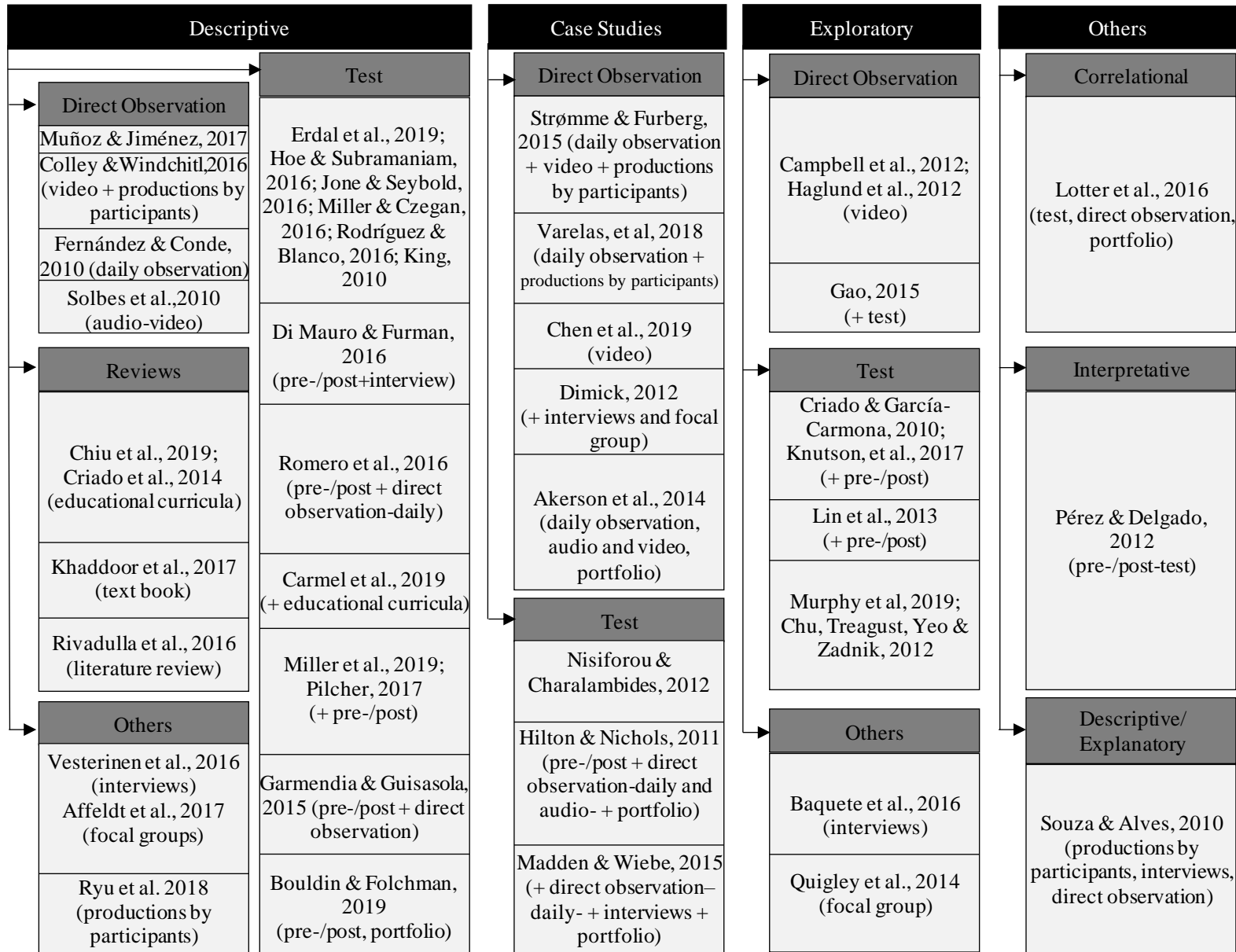


Figure 7. Methodology in qualitative studies.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

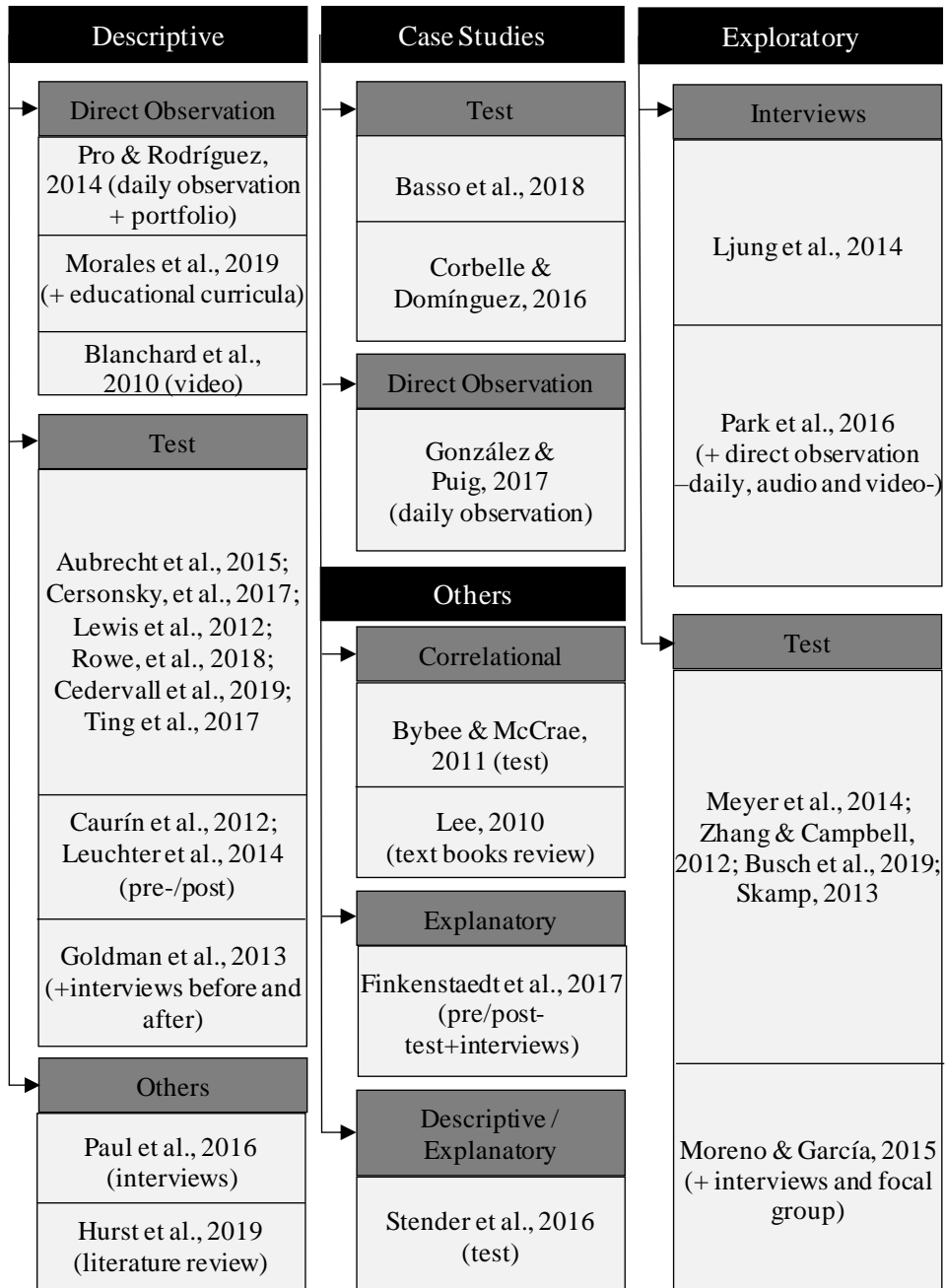


Figure 8. Methodology in quantitative studies.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

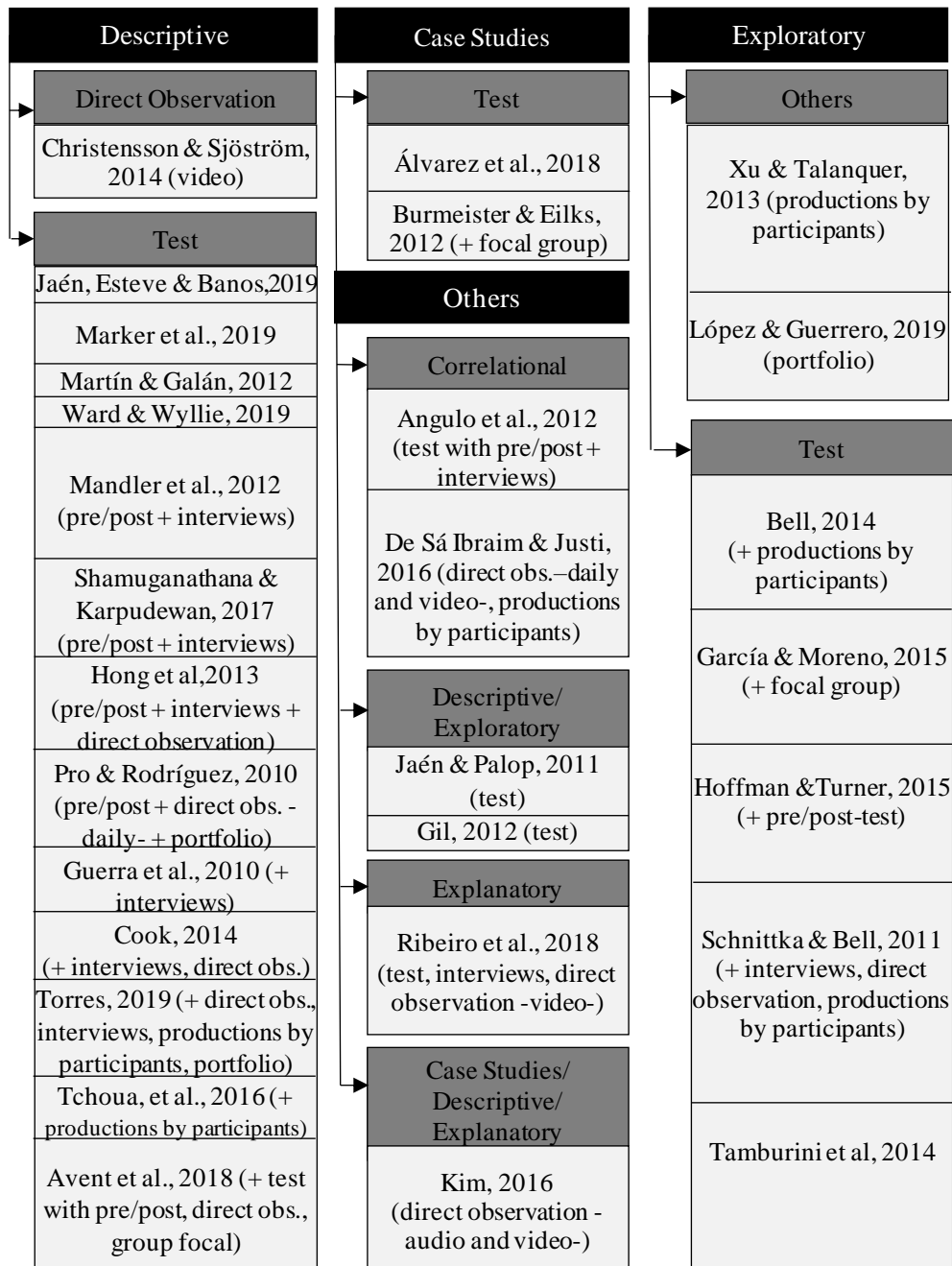


Figure 9. Methodology in mixed studies.

4.6. Teaching approaches

Two teaching approaches are detected. The main approach is propedeutic (64.7%), which is based on learning knowledge and scientific processes, without taking into account the interests of students and society (Furió et al., 2001), whereas the remaining 35.3% involve a competence-based approach involving the development of skills by application of knowledge.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Innovations are based on experiences that highlight learning of some properties of plastics (80.9%), with thermal or electrical conductivity being the most common. Another recurring topic concerns polymers, considered to be essential chemical compounds in plastics. Other, less-common proposals cover contamination by plastics and their environmental impact (6.3%).

5. Conclusions

Despite the importance of plastics and their contamination, the results found do not appear to suggest a school that generates environmental awareness and sensitivity, thus allowing citizens to give effective responses and resolve environmental problems, at least as regards the number of research studies published. Initial evidence for this is provided by the limited number of publications concerning plastics in SE in the past decade, with this number being somewhat higher nationally (3.4%) than internationally (2.3%). These values are in agreement with those from other reviews (Fernández, 2008), which highlighted the shortage of studies in environmental education or contamination. Another worrying aspect is the evolution of the number of publications over the past few years. Thus, whereas there appears to be an increase internationally due to activist actions (Koch and Barber, 2019), this is not seen in Spain.

The reason that 79.2% of studies are published by university lecturers is probably due to the fact that high-impact journals, such as those selected, tend to focus on studies in an academic setting. Similarly, effective collaboration between university-based researchers and those from other educational levels, such as secondary education, where a significant number of studies are performed, at least in Spain (18.8%), appears to be lacking. This type of collaboration between authors could represent a major advantage as regards resolving the problem from a school viewpoint as these teachers are in direct contact with students and can see the effects of such studies, therefore they should be the ones who are involved in raising citizens' awareness (Jaén et al., 2019). The very limited number of studies in pre-secondary settings, which are essential to reinforce environmental education from an early age, should be noted (Corraliza and Collado, 2019).

The composition and properties of plastics are presented as the main contents, highlighting their importance in our lives, although there is a clear lack of practical studies regarding contamination, environmental awareness and the proposal of solutions. Indeed, studies regarding the direct relationship between plastics contamination and health are lacking (Cersonsky et al., 2017; Miller and Czegán, 2016), thus suggesting that this aspect of the problem is being essentially ignored even though increasing numbers of studies demonstrate the effects of plastics on our bodies (Smith et al., 2018).

The majority of contents are based on a propedeutic approach, which tends to be the main approach used in standard teaching practice by science teachers (Furió et al., 2001). This approach does not benefit from the contextualised and competence-based learning required for the development of scientific literacy (Pedrinaci et al., 2012). As noted by Corraliza and Collado (2019), dissemination of information and knowledge tends to be insufficient on its own, therefore the promotion of significant experiences is necessary. From our viewpoint, the teaching-learning of plastics should be oriented towards

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

resolving a socio-scientific issue by way of scientific practices that allow all the perspectives, environmental repercussions and measures to be adopted to be understood. This will allow the development of critical thinking skills in students.

Similarly, improvements to some methodological aspects may contribute to progress in the teaching-learning of plastics. For instance, the use of quantitative and mixed methodologies, which are less widely used in Spain than internationally, and the use of more competence-based instruments, may help in that regard.

This study is not free from limitations. One of these is that an attempt has been made to limit the studies analysed to a national or international context, which is somewhat complicated given that many national journals also publish studies from overseas authors, many of whom are based in Ibero-America, and Spanish authors also publish in international journals. Another important limitation is that the majority of proposals made in schools are never published, therefore supposing that the content of the studies published reflects what is actually happening in classrooms is risky, although it may give an initial insight into this topic.

Although the reality of educational research into plastics presents numerous aspects that can be improved, the question of contamination with plastics has begun to receive attention in the past few years, although the teaching of such topics remains a challenge for teaching staff. For the reasons presented above, we believe that it is essential to continue to study this aspect in research and educational centres at all levels.

6. Acknowledgments

This work is part of the R&D project, reference PID2019-105765GA-I00, entitled “Citizens with critical thinking: A challenge for teachers in science education”, financed by the Spanish Government in the 2019 call.

7. References

- Affeldt, F., Tolppanen, S., Aksela, M., & Eilks, I. (2017). The potential of the non-formal educational sector for supporting chemistry learning sustainability education for all students a joint perspective from two cases in Finland and Germany. *Chemistry Education Research & Practice*, 18(1), 13-25.
- Akerson, V., Nargund, V., Weiland, I., Pongsanon, K., & Avsar, B. (2014). What third-grade students of differing ability levels learn about nature of science after a year of instruction. *International Journal of Science Education*, 36(2), 244-276.
- Álvarez, O., Sureda, J., y Comas, R. (2018). Evaluación de las competencias ambientales del profesorado de primaria en formación inicial: estudio de caso. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(1), 117-141.
- Angulo, F., Zapata, L., Soto, C.A., Quintero, S., Ceballos, A.F., Cardona, F.,... & Delgado, E. (2012). ¿Contribuyen los talleres en el Museo de Ciencias a fomentar actitudes hacia la conservación del ambiente? *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 53-70.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- Aubrecht, K.B., Padwa, L., Shen, X., & Bazargan, G. (2015). Development and implementation of a series of laboratory field trips for advanced high school students to connect chemistry to sustainability. *Journal of Chemical Education*, 92(4), 631-637.
- Avent, C.M., Boyce, A.S., LaBennett, R., & Taylor, D.K. (2018). Increasing Chemistry Content Engagement by Implementing Polymer Infusion into Gatekeeper Chemistry Courses. *Journal of Chemical Education*, 95(12), 2164-2171.
- Baquete, A.M., Grayson, D., & Mutimucuo, I.V. (2016). An exploration of Indigenous knowledge related to physics concepts held by senior citizens in Chókwé, Mozambique. *International Journal of Science Education*, 38(1), 1-16.
- Basso, A., Chiorri, C., Bracco, F., Carnasciali, M.M., Alloisio, M., & Grotti, M. (2018). Improving the interest of high-school students toward chemistry by crime scene investigation. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(2), 558-566.
- Bell, P. (2014). Design of a food chemistry-themed course for nonscience majors. *Journal of Chemical Education*, 91(10), 1631-1636.
- Blanchard, M.R., Southerland, S.A., Osborne, J.W., Sampson, V.D., Annetta, L.A., & Granger, E.M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability? A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616.
- Bouldin, R.M., & Folchman, Z. (2019). Chemistry of Sustainable Products: Filling the Business Void in Green-Chemistry Curricula. *Journal of Chemical Education*, 96(4), 647-651.
- Burmeister, M., & Eilks, I. (2012). An example of learning about plastics and their evaluation as a contribution to education for sustainable development in secondary school chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 93-102.
- Busch, K.C., Ardoin, N., Gruehn, D., & Stevenson, K. (2019). Exploring a theoretical model of climate change action for youth. *International Journal of Science Education*, 41(17), 2389-2409.
- Bybee, R., & McCrae, B. (2011). Scientific literacy and student attitudes: Perspectives from PISA 2006 science. *International Journal of Science Education*, 33(1), 7-26.
- Campbell, T., Oh, P.S., & Neilson, D. (2012). Discursive modes and their pedagogical functions in model-based inquiry (MBI) classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(15), 2393-2419.
- Carmel, J.H., Herrington, D.G., Posey, L.A., Ward, J.S., Pollock, A.M., & Cooper, M.M. (2019). Helping students to “do science”: Characterizing scientific practices in general chemistry laboratory curricula. *Journal of Chemical Education*, 96(3), 423-434.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- Caurín, A., Morales, A.J., & Solaz, J.J. (2012). ¿Es posible un cambio de actitudes hacia un modelo de desarrollo sostenible? *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 26, 229-245.
- Cedervall, T., Ekvall, M.T., Mattsson, K., & Lundqvist, M. (2019). Workshop on Environmental Nanosafety: Biological Interactions of Plastic Nanoparticles. *Journal of Chemical Education*, 96(9), 1967-1970.
- Cersonsky, R.K., Foster, L.L., Ahn, T., Hall, R.J., Van Der Laan, H.L., & Scott, T.F. (2017). Augmenting primary and secondary education with polymer science and engineering. *Journal of Chemical Education*, 94(11), 1639-1646.
- Chen, Y.C., Benus, M.J., & Hernández, J. (2019). Managing uncertainty in scientific argumentation. *Science Education*, 103(5), 1235-1276.
- Chiu, M.H., Mamlok, R., & Apotheker, J. (2019). Identifying systems thinking components in the school science curricular standards of four countries. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2814-2824.
- Christensson, C., & Sjöström, J. (2014). Chemistry in context: analysis of thematic chemistry videos available online. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 59-69.
- Chu, H.E., Treagust, D.F., Yeo, S., & Zadnik, M. (2012). Evaluation of students' understanding of thermal concepts in everyday contexts. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1509-1534.
- Colley, C., & Windschitl, M. (2016). Rigor in elementary science students' discourse: The role of responsiveness and supportive conditions for talk. *Science Education*, 100(6), 1009-1038.
- Cook, D.H. (2014). Conflicts in chemistry: The case of plastics. A role-playing game for high school chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 91(10), 1580-1586.
- Corbelle, J., & Domínguez, J.M. (2016). Estado de la cuestión sobre el aprendizaje y la enseñanza de la radiactividad en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(3), 137-158.
- Corraliza, J.A., & Collado, S. (2019). Conciencia ecológica y experiencia ambiental en la infancia. *Papeles del Psicólogo*, 40(3), 190-196.
- Criado, A.M., Cruz, M., García-Carmona, A., & Cañal, P. (2014). ¿Cómo mejorar la educación científica se primaria en España desde el currículum oficial? Sugerencias a partir de un análisis curricular comparativo en torno a las finalidades y contenidos de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 249-266.
- De Sá Ibraim, S., & Justi, R. (2016). Teachers' knowledge in argumentation: contributions from an explicit teaching in an initial teacher education programme. *International Journal of Science Education*, 38(12), 1996-2025.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- Di Mauro, M.F., & Furman, M. (2016). Impact of an inquiry unit on grade 4 students' science learning. *International Journal of Science Education*, 38(14), 2239-2258.
- Dimick, A.S. (2012). Student empowerment in an environmental science classroom: Toward a framework for social justice science education. *Science Education*, 96(6), 990-1012.
- Elías, R. (2015). Mar del plástico: una revisión del plástico en el mar. *Marine & Fishery Sciences*, 27, 83-105.
- Erdal, N.B., Hakkarainen, M., & Blomqvist, A.G. (2019). Polymers, Giant Molecules with Properties: An Entertaining Activity Introducing Polymers to Young Students. *Journal of Chemical Education*, 96(8), 1691-1695.
- Eriksen, M., Maximenko, N., & Thiel, M. (2013). Plastic pollution in the world's oceans: More than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLOS ONE*, 9(12).
- Fernández, A., & Conde, J.L. (2010). La ecopedagogía en la formación inicial de maestros. *Investigación en la Escuela*, 71, 39-49.
- Fernández, Y. (2008). ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales? Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. *Espiral*, 15(43), 179-202.
- Finkenstaedt, S.A., Halim, A.S., Chambers, T.G., Moon, A., Goldman, R.S., Gere, A.R., & Shultz, G.V. (2017). Investigation of the influence of a writing-to-learn assignment on student understanding of polymer properties. *Journal of Chemical Education*, 94(11), 1610-1617.
- Furió, C., Vilches, A., Guisasola, J., & Romo, V. (2001). Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la Secundaria obligatoria. ¿Alfabetización científica o preparación propedéutica? *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 365-376.
- Gamboa, G.A. (2015). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una perspectiva bioética. *Persona y Bioética*, 19(2), 175-181.
- Gao, R. (2015). Incorporating students' self-designed, research-based analytical chemistry projects into the instrumentation curriculum. *Journal of Chemical Education*, 92(3), 444-449.
- García, I., & Moreno, O. (2015). El alumnado de primaria participante en el programa educativo Ecoescuelas ante las problemáticas socio-ambientales. De la perspectiva local a la global. *Investigación en la Escuela*, 87, 91-104.
- Garmendia, M., & Guisasola, J. (2015). Alfabetización científica en contextos escolares: Proyecto ZientziaLive! *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(2), 294-310.
- Gil, J. (2012). Actitudes del alumnado español hacia las ciencias en la evaluación PISA 2006. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(2), 131-152.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- Goldman, D., Assaraf, O.B.Z., & Shaharabani, D. (2013). Influence of a non-formal environmental education programme on junior high-school students' environmental literacy. *International Journal of Science Education*, 35(3), 515-545.
- González, A., & Puig, B. (2017). Analizar una problemática ambiental local para practicar la argumentación en clase de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 280-297.
- Guerra, M.T., Ryder, J., & Leach, J. (2010). Ideas about the nature of science in pedagogically relevant contexts: Insights from a situated perspective of primary teachers' knowledge. *Science Education*, 94(2), 282-307.
- Haglund, J., Jeppsson, F., & Andersson, J. (2012). Young children's analogical reasoning in science domains. *Science Education*, 96(4), 725-756.
- Hilton, A., & Nichols, K. (2011). Representational classroom practices that contribute to students' conceptual and representational understanding of chemical bonding. *International Journal of Science Education*, 33(16), 2215-2246.
- Hoe, K.Y., & Subramaniam, R. (2016). On the prevalence of alternative conceptions on acid-base chemistry among secondary students: insights from cognitive and confidence measures. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(2), 263-282.
- Hoffman, A., & Turner, K. (2015). Microbeads and engineering design in chemistry: No small educational investigation. *Journal of Chemical Education*, 92(4), 742-746.
- Hong, Z.R., Lin, H.S., Wang, H.H., Chen, H.T., & Yang, K.K. (2013). Promoting and scaffolding elementary school students' attitudes toward science and argumentation through a science and society intervention. *International Journal of Science Education*, 35(10), 1625-1648.
- Hurst, G.A., Sloopweg, J.C., Balu, A.M., Climent, M.S., Gomera, A., Gomez, P., ... & Ibanez, J.G. (2019). International perspectives on Green and sustainable chemistry education via systems thinking. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2794-2804.
- Jaén, M., & Palop, E. (2011). ¿Qué piensan y cómo dicen que actúan los alumnos y profesores de un centro de educación secundaria sobre la gestión del agua, energía y los residuos? *Enseñanza de las Ciencias*, 29(1), 61-74.
- Jaén, M., Esteve, P., & Banos, I. (2019) Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1501.
- Jone, M.L., & Seybold, P.G. (2016). Combining chemical information literacy, communication skills, career preparation, ethics, and peer review in a team-taught chemistry course. *Journal of Chemical Education*, 93(3), 439-443.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- Khaddoor, R., Al-Amoush, S., & Eilks, I. (2017). A comparative analysis of the intended curriculum and its presentation in 10th grade chemistry textbooks from seven Arabic countries. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(2), 375-385.
- Kim, M. (2016). Children's reasoning as collective social action through problem solving in Grade 2/3 science classrooms. *International Journal of Science Education*, 38(1), 51-72.
- King, C.J. (2010). An analysis of misconceptions in science textbooks: Earth science in England and Wales. *International Journal of Science Education*, 32(5), 565-601.
- Knutson, C.M., Schneiderman, D.K., Yu, M., Javner, C.H., Distefano, M.D., & Wissinger, J.E. (2017). Polymeric medical sutures: An exploration of polymers and Green Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 94(11), 1761-1765.
- Koch, B.S., & Barber, M.M. (2019). Basuras marinas; impacto, actualidad y las acciones para mitigar sus consecuencias. *Revista de Marina*, 968, 30-39.
- Lee, V.R. (2010). Adaptations and continuities in the use and design of visual representations in US middle school science textbooks. *International Journal of Science Education*, 32(8), 1099-1126.
- Leuchter, M., Saalbach, H., & Hardy, I. (2014). Designing Science Learning in the First Years of Schooling. An intervention study with sequenced learning material on the topic of 'floating and sinking'. *International Journal of Science Education*, 36(10), 1751-1771.
- Lewis, M.S., Zhao, J., & Montclare, J.K. (2012). Development and implementation of high school chemistry modules using touch-screen technologies. *Journal of Chemical Education*, 89(8), 1012-1018.
- Lin, H.S., Hong, Z.R., & Chen, Y.C. (2013). Exploring the development of college students' situational interest in learning science. *International Journal of Science Education*, 35(13), 2152-2173.
- Ljung, A., Magnusson, A., & Peterson, S. (2014). From doing to learning: Changed focus during a pre-school learning study project on organic decomposition. *International Journal of Science Education*, 36(4), 659-676.
- López, L., & Guerrero, A. (2019). ¿Qué creen estudiantes de Educación qué se puede hacer ante la situación de emergencia climática desde la Universidad, como profesionales y como ciudadanos? *Investigación en la Escuela*, 99, 46-59.
- López-Fernández, M.M., González, F., & Franco-Mariscal, A.J. (2021). ¿Qué ideas iniciales tienen los estudiantes de 1º de E.S.O. sobre la contaminación medioambiental por plásticos? *Actas del 29 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (pp. 1031-1037). Córdoba: Universidad de Córdoba y ÁPICE.
- Lotter, C., Smiley, W., Thompson, S., & Dickenson, T. (2016). The impact of a professional development model on middle school science teachers' efficacy and

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- implementation of inquiry. *International Journal of Science Education*, 38(18), 2712-2741.
- Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza, J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. United Kingdom: FAO.
- Madden, L., & Wiebe, E. (2015). Multiple perspectives on elementary teachers' science identities: A case study. *International Journal of Science Education*, 37(3), 391-410.
- Manchón, A.F., & García-Carmona, A. (2018). ¿Qué investigación didáctica en el aula de física se publica en España? Una revisión crítica de la última década para el caso de educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(2), 125-141.
- Mandler, D., Mamlok R., Blonder, R., Yayan, M., & Hofstein, A. (2012). High-school chemistry teaching through environmentally oriented curricula. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 80-92.
- Marcén, C., & Molina, P.J. (2006). *La persistencia de las opiniones de los escolares sobre el Medio Ambiente. Una particular visión retrospectiva desde 1980 a 2005*. Madrid: MMA.
- Marker, S.C., Konkankit, C.C., Walsh, M.C., Lorey, D.R., & Wilson, J.J. (2019). Radioactive World: An Outreach Activity for Nuclear Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 96(10), 2238-2246.
- Martín, R., & Galán, P. (2012). Los criterios de clasificación de la materia inerte en la Educación Primaria: concepciones de los alumnos y niveles de competencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(2), 213-230.
- Meyer, A.F., Knutson, C.M., Finkenstaedt, S.A., Gruba, S.M., Meyer, B.M., Thompson, J.W., ... & Haynes, C.L. (2014). Activities for middle school students to sleuth a chemistry "Whodunit" and investigate the scientific method. *Journal of Chemical Education*, 91(3), 410-413.
- Miller, D.M., & Czegan, D.A. (2016). Integrating the liberal arts and chemistry: A series of general chemistry assignments to develop science literacy. *Journal of Chemical Education*, 93(5), 864-869.
- Miller, J.L., Wentzel, M.T., Clark, J.H., & Hurst, G.A. (2019). Green machine: a card game introducing students to systems thinking in green chemistry by strategizing the creation of a recycling plant. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 3006-3013.
- Morales, D., Childress, T., & Chappell, M.J. (2019). Chemicals are contaminants too: Teaching appreciation and critique of science in the era of Next Generation Science Standards (NGSS). *Science Education*, 103(6), 1347-1366.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- Moreno, O., & García, F.F. (2015). Ciudadanía, participación y compromiso con los problemas socio-ambientales. Concepciones del alumnado participante en programas educativos andaluces. *Investigación en la Escuela*, 86, 21-34.
- Muñoz, L., & Jiménez, M.R. (2017). Sistema acuopónico para trabajar los ecosistemas a nivel meso en educación infantil. *Investigación en la Escuela*, 93, 30-42.
- Murphy, K.C., Dilip, M., Quattrucci, J.G., Mitroka, S.M., & Andreatta, J.R. (2019). Sustainable consumer choices: An outreach program exploring the environmental impact of our consumer choices using a systems thinking model and laboratory activities. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2993-2999.
- Nisiforou, O., & Charalambides, A.G. (2012). Assessing undergraduate university students' level of knowledge, attitudes and behaviour towards biodiversity: a case study in Cyprus. *International Journal of Science Education*, 34(7), 1027-1051.
- Park, J., Abrahams, I., & Song, J. (2016). Unintended knowledge learnt in primary science practical lessons. *International Journal of Science Education*, 38(16), 2528-2549.
- Paul, J., Lederman, N.G., & Gro, J. (2016). Learning experimentation through science fairs. *International Journal of Science Education*, 38(15), 2367-2387.
- Pedrinaci, E., Caamaño, A., Cañal, P., & Pro, A. (2012). *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Barcelona: Graó.
- Pérez, R., & Delgado, Á. (2012). La educación física y la adquisición de valores relacionados con el medio ambiente. *Investigación en la Escuela*, 77, 85-118.
- Pilcher, S.C. (2017). Hybrid course design: A different type of polymer blend. *Journal of Chemical Education*, 94(11), 1696-1701.
- Pro, A., & Rodríguez, J. (2010). Aprender competencias en una propuesta para la enseñanza de los circuitos eléctricos en educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 385-404.
- Pro, A., & Rodríguez, J. (2014). Desarrollo de la propuesta “si se necesita más energía... que no se hagan más centrales” en un aula de educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 267-284.
- Quigley, C.F., Miller, Z.D., Dogbey, J., Che, S.M., & Hallo, J. (2014). ‘No One Should Destroy the Forest’: Using photo-based vignette interviews to understand Kenyan teachers' views of the environment. *International Journal of Science Education*, 36(17), 2937-2957.
- Ribeiro, E.M., Ratis, J.R., & Dantas, J. (2018). Analysing processes of conceptualization for students in lessons on substance from the emergence of conceptual profile zones. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(4), 1010-1028.
- Rivadulla, J.C., García, S., & Martínez, C. (2016). Historia de la Ciencia e ideas de los alumnos como referentes para seleccionar contenidos sobre nutrición. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 53-66.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- Rodríguez, F., & Blanco, Á. (2016). Diseño y análisis de tareas de evaluación de competencias científicas en una unidad didáctica sobre el consumo de agua embotellada para educación secundaria obligatoria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 279-300.
- Romero, A., Aguirre, D., Quesada, A., Abril, A.M., & García, F.J. (2016). ¿Lana o metal? Una propuesta de aprendizaje por indagación para el estudio de las propiedades térmicas de materiales comunes. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 297-311.
- Rowe, L., Kubalewski, M., Clark, R., Statza, E., Goyne, T., Leach, K., & Peller, J. (2018). Detecting microplastics in soil and sediment in an undergraduate environmental Chemistry laboratory experiment that promotes skill building and encourages environmental awareness. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 323-328.
- Ryu, M., Nardob, J.E., & Wub, M.Y.M. (2018). An examination of preservice elementary teachers' representations about chemistry in an intertextuality-modeling-based course. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(3), 681-693.
- Schnittka, C., & Bell, R. (2011). Engineering design & conceptual change in science: Addressing thermal energy & heat transfer in eighth grade. *International Journal of Science Education*, 33(13), 1861-1887.
- Shamuganathana, S., & Karpudewan, M. (2017). Science writing heuristics embedded in green chemistry: a tool to nurture environmental literacy among pre-university students. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(2), 386-396.
- Skamp, K., Boyes, E., & Stanisstreet, M. (2013). Beliefs and willingness to act about global warming: Where to focus science pedagogy? *Science Education*, 97(2), 191-217.
- Smith, M., Love, D.C., Rochman, C.M., & Neff, R.A. (2018). Microplastics in seafood & the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3), 375-386.
- Solbes, J., Ruiz, J.J., & Furió, C. (2010). Debates y argumentación en las clases de física y química. *Alambique*, 63, 65-75.
- Souza, K.A., & Alves, A. (2010). Reflexiones sobre el papel de la contextualización en la Enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 275-284.
- Stender, A.S., Newell, R., Villarreal, E., Swearer, D.F., Bianco, E., & Ringe, E. (2016). Communicating science concepts to individuals with visual impairments using short learning modules. *Journal of Chemical Education*, 93(12), 2052-2057.
- Strømme, A.A., & Furberg, A. (2015). Exploring teacher intervention in the intersection of digital resources, peer collaboration and instructional design. *Science Education*, 99(5), 837-862.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- Tamburini, F., Kelly, T., Weerapana, E., & Byers, J.A. (2014). Paper to plastics: An interdisciplinary summer outreach project in sustainability. *Journal of Chemical Education*, 91(10), 1574-1579.
- Tchoua, R.B., Qin, J., Audus, D.J., Chard, K., Foster, I.T., & De Pablo, J. (2016). Blending education and polymer science: Semiautomated creation of a thermodynamic property database. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1561-1568.
- Thunberg, G. (2019). *Cambiamos el mundo:#huelgaporelclima*. Madrid: Lumen.
- Ting, J.M., Ricarte, R.G., Schneiderman, D.K., Saba, S.A., Jiang, Y., Hillmyer, M.A.,... & Lodge, T.P. (2017). Polymer day: Outreach experiments for high school students. *Journal of Chemical Education*, 94(11), 1629-1638.
- Torres, J.M. (2019) Estudio de los flujos de dispersión de los residuos plásticos en el Golfo de Cádiz debido a las corrientes superficiales marinas: una propuesta didáctica para iniciar a los alumnos de 1º ESO en la indagación científica escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(3), 3501.
- United Nations (2019). *Report of the secretary-General on the 2019 climate action summit and the way forward in 2020*. New York: United Nations.
- Urrútica, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507-511.
- Varelas, M., Morales, D., Raza, S., Segura, D., Canales, K., & Mitchener, C. (2018). Community organizations' programming and the development of community science teachers. *Science Education*, 102(1), 60-84.
- Vesterinen, V.M., Tolppanen, S., & Aksela, M. (2016). Toward citizenship science education: what students do to make the world a better place? *International Journal of Science Education*, 38(1), 30-50.
- Ward, A.M., & Wyllie, G.R. (2019). Bioplastics in the general chemistry laboratory: Building a semester-long research experience. *Journal of Chemical Education*, 96(4), 668-676.
- Xu, H., & Talanquer, V. (2013). Effect of the level of inquiry of lab experiments on general chemistry students' written reflections. *Journal of Chemical Education*, 90(1), 21-28.
- Zhang, D., & Campbell, T. (2012). An exploration of the potential impact of the integrated experiential learning curriculum in Beijing, China. *International Journal of Science Education*, 34(7), 1093-1123.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Artículo 2. How can socio-scientific issues help develop critical thinking in chemistry education? A reflection on the problem of plastics

Datos de la publicación

Tipo de publicación	Artículo
Título	How can socio-scientific issues help develop critical thinking in chemistry education? A reflection on the problem of plastics.
Autores	María del Mar López Fernández, Francisco González García y Antonio Joaquín Franco-Mariscal
Año	2022
Revista	Journal of Chemical Education
Número y volumen	Publicado 22 Septiembre 2022 como artículo ASAP (As soon as publishable)
Páginas	
DOI	https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00223
Enlace	https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jchemed.2c00223
Idiomas del artículo	Inglés
Indicadores de calidad	<ul style="list-style-type: none">• Base de datos: WOS (JCR) (2021). Categoría: Education, Scientific disciplines. Cuartil: Q2 (16/44). Factor de impacto 3.208.• Base de datos: SJR (Scopus) (2021). Categoría: Educación. Cuartil: Q2. Factor de impacto: 0.504

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Objetivos y preguntas de investigación que responde el artículo:

Objetivo general 2. Diseñar, implementar y evaluar una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje centrada en la contaminación ambiental por plásticos que permita desarrollar habilidades de pensamiento crítico a través de distintas estrategias en estudiantes de 2º de E.S.O.

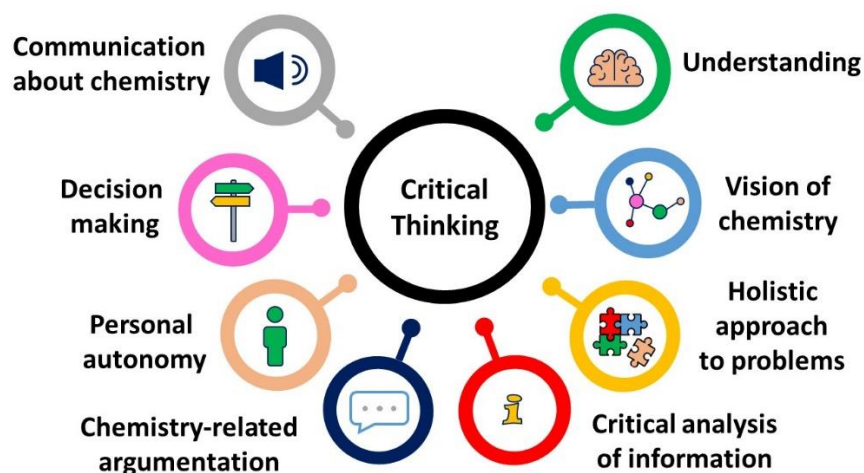
Objetivos específicos:

(2.1). Valorar cómo el problema socio-científico de los plásticos puede contribuir a desarrollar habilidades de pensamiento crítico en las distintas actividades planteadas en una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje sobre este tema.

Preguntas de investigación:

e) ¿Cómo puede contribuir el problema socio-científico de los plásticos a desarrollar habilidades de pensamiento crítico en las distintas actividades planteadas en una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje sobre este tema? (Objetivo específico 2.1.).

Abstract



Socio-scientific issues demonstrate the relationship between science, technology and society by considering currently unresolved questions. The problem of plastics and their pollution is just one example with important implications for the planet. The aim of this paper is to revisit socio-scientific issues and see them as a way of developing citizens' critical thinking skills through chemistry education. In light of the problems posed by plastics, we present evidence tested with Spanish grade-8 students of how critical thinking skills can be developed through chemistry education in terms of the vision of chemistry, understanding acquisition, a holistic approach to problems, critical analysis of information, argumentation, decision-making, personal autonomy and communication. This study also presents some examples of how progress in the development of critical thinking by students has been evaluated.

Keywords: First-Year Undergraduate/General, High School/ Introductory Chemistry, Graduate Education / Research, General Public, Student-Centered Learning.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

1. Plastics and Pollution, a Current Socio-Scientific Issue

Socio-scientific issues (SSIs) are real, unresolved, complex and controversial problems. They are linked to the close relationship between science, technology and society¹ and can be considered from different perspectives (social, ethical, economic, environmental, political, etc.). However, there are no definitive answers for some of these issues, and the debate around them will continue no matter what stance is taken by individuals or society. Many SSIs stem from new scientific and technological breakthroughs (stem cells, nanotechnology, etc.), while others are related to health (cloning, disease transmission, etc.), environmental issues and the efficient use of resources and raw materials.

One such problem is plastics, widely used polymer-based materials that are flexible, elastic, cheap, strong, durable, and ubiquitous in today's society. However, the use of plastics has harmful environmental consequences. Firstly, the fossil fuels used as raw materials for plastics are a limited resource. In addition, the recycling rate for used plastics is low and recycling is often poorly managed. Moreover, because plastics are not readily biodegradable, they leak into the environment, causing ecological damage as they fragment, and they can also enter the food chain.² Concern is growing around the fragmentation of plastics and the build-up of microplastics because of the way they move around different areas of the planet, circulating between land habitats, soils, freshwater bodies, oceans and their sediments, the air, and even living organisms.³

2. Socio-Scientific Issues and Citizens' Critical Thinking

Chemistry education is key to educating students about these SSIs, and raising awareness of environmental issues in the case of plastics, in their role as citizens. Several authors have highlighted the importance of creating context-based learning environments in science as conduits for learning, both in terms of knowledge, skills, attitudes and values.^{4,5,6} Moreover, these learning environments lead to a better understanding of chemistry and help students to relate chemistry to their daily lives.

The teaching of SSI in the chemistry classroom can help develop critical thinking skills in students, a complex process that includes cognitive, attitudinal and affective aspects. Critical thinking is essential in today's society. Education should train students to become competent citizens who can make reasoned decisions in different situations or when facing everyday problems in which science and technology in general, and chemistry in particular, play an essential role.

Although there is no unanimously accepted definition of critical thinking,⁷ several authors have offered a number of suggestions. According to Dekker,⁸ it is a way of approaching SSI from many different perspectives while being sceptical of absolute statements, and seeking to understand these issues in order to come to a final decision about them. Renatovna and Renatovna⁹ see it as a skill that helps people learn to analyse, express their opinions objectively based on evidence and conclusions, reflect on their own way of thinking and stereotypes, and correct mistakes when necessary. Jiménez-Aleixandre and Erduran¹⁰ define it as the ability to develop an independent opinion, thus acquiring the capacity to reflect on and participate in society. They also point out that critical thinking

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

contains elements of argumentation, such as the search for and use of evidence. It is, therefore, a crucial ability if we are to have a society made up of competent, participatory, thoughtful citizens who have a scientific attitude in general, and a scientific attitude towards chemistry in particular. One of the main aims of science education¹¹ is to develop a student's capacity for critical thinking, and school curricula include it as one of their objectives. As such, chemistry education should contribute to producing well-informed citizens who can analyse problems, seek solutions, make good decisions and take on social responsibilities.

But how can addressing the SSIs of plastics help develop critical thinking skills in chemistry education? To answer this question, we must ask ourselves what dimensions of critical thinking can be developed by teaching chemistry using SSIs. The proposal by Blanco, España and Franco-Mariscal¹² shows that SSIs can contribute to developing skills related to the dimensions shown in Figure 1.

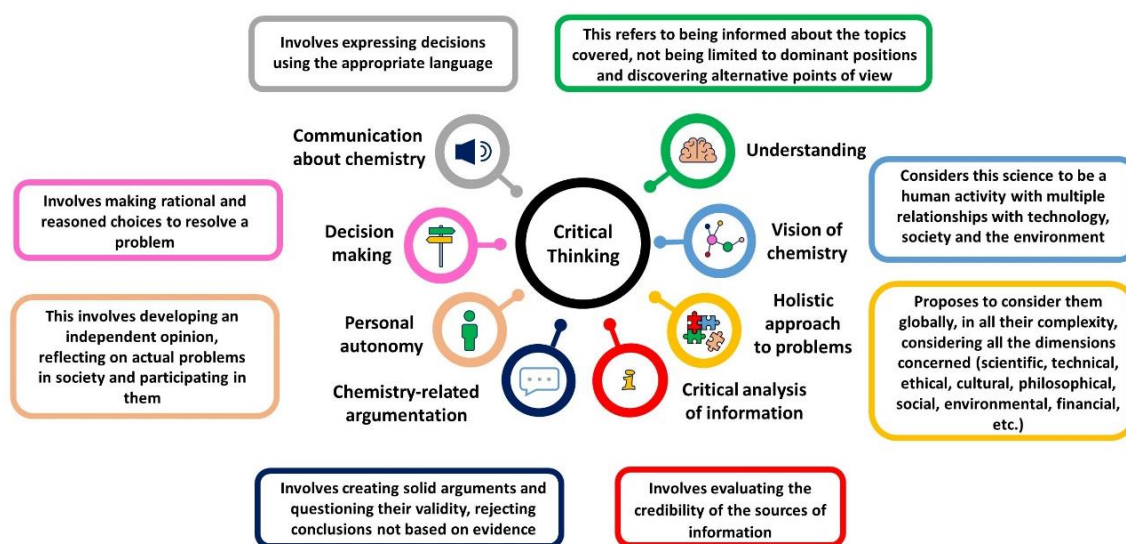


Figure 1. Dimensions of critical thinking according to the proposal of Blanco, España and Franco-Mariscal.¹² [Author's own work]

The scheme in Figure 1 is an attempt to demonstrate that the eight dimensions of critical thinking are mutually interconnected and are all equally important. Similarly, the order does not suppose a sequence in which these dimensions should be developed and neither does it imply that all of them should be considered in the same activity. For instance, we can use understanding and then a critical analysis of information to argue about chemistry, thus leading to decision making and then communication. In summary, the development of critical thinking in students will be related to the progress in each dimension.

In addition, to ensure the correct development of critical-thinking skills, it is important to create a spiral scaffolding with a systems thinking-based approach.¹³ An SSI must be the centre where these dimensions are developed and the scenario that ties all chemistry concepts to it, much like a context-based approach. It is necessary to subdivide major concepts in order from least to most complex, scattered across multiple units or activities,

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

thereby maintaining the interconnectivity of major units.¹⁴ Initially, we should start by working on both understanding and critical-thinking skills in a simple manner, gradually increasing the complexity thereafter. Subsequently, the content studies will be linked to the initial learning, returning to it and again increasing the complexity gradually. This process continues, repeating the same topic, to construct new learning.¹⁴ For instance, students need to study the types of plastics, their properties, composition and structure, and their degradation processes beforehand to understand environmental pollution.

3. Evidence for the Development of Critical-Thinking Skills In Grade-8 Students in A Teaching-Learning Sequence on Plastics

This section provides some evidence for how the dimensions indicated may help to measure the development of critical thinking in Spanish grade-8 students, who participated in a teaching-learning sequence (TLS)¹⁵ about plastics and contamination, specifically designed to develop such skills. The TLS was carried out over the course of a Spanish academic year. Figure 2 shows a scheme for the TLS that relates the dimensions of critical thinking to the knowledge about plastics and the tasks proposed.

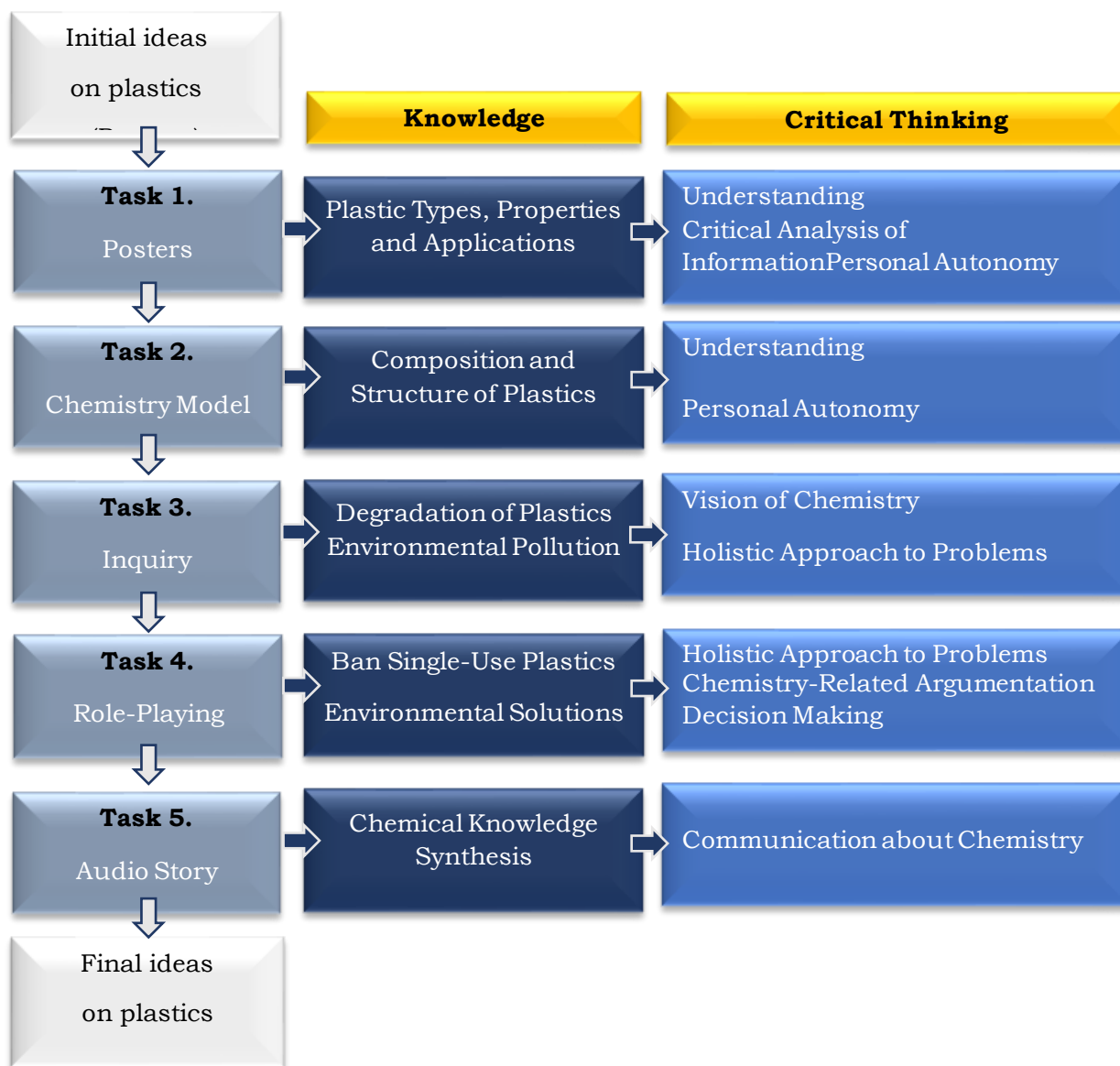


Figure 2. Scheme of the Teaching Learning Sequence

The questionnaire used as pre-test and post-test has been included in Supporting Information.

3.1. Understanding, Critical Analysis of Information and Personal Autonomy

Firstly, a number of skills we need to consider are related to acquiring scientific understanding on the issue so that students can form their own independent opinion (personal autonomy) on the SSI by gathering information from different sources and analysing it critically. In short, one of the skills needed for critical thinking is the systematic analysis of information and opinions that we accept as true. Developing this skill is essential in societies facing an infodemic and the worrying consequences of an overabundance of information, some of which is rigorous but some of which is false or misinformed.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

For students to critically analyse information, they need to be equipped with criteria that will allow them to evaluate the quality and reliability of sources, especially online sources. These criteria include: (a) the identification of the author, whereby the information provided by collective decision-makers is more highly valued than that of an individual, and, of the latter, more weight is given to information provided by those with specialist expertise, (b) the intelligibility of the message, whereby importance is attached to the correct wording of the message and the separation of information from opinion, (c) the independence of the message, whereby particular importance is attached to the separation of information from possible advertising messages, and (d) the use of bibliographical references.

With regard to the SSI concerning plastics, the TLS included tasks 1 and 2 to contribute to the acquisition of chemistry-related understanding, critical analysis and personal autonomy.

Task 1 involved searching for and analysing information on the types of plastics, their composition, properties and possible applications, thus allowing the creation of posters or infographics and their subsequent display and oral presentation. Students specifically used items destined for the recycling bin/garbage or household objects to convey information. In addition, the information they included on the posters had to be found on the Internet, taking into account the criteria to critically analyse the information mentioned above.

Smolkin and Donovan¹⁶ have suggested that posters created by teachers and students are helpful for exploring ideas about a specific topic, whereas Guron and Slentz¹⁴ provide some student work samples showing the diversity of connections made between plastics and issues in the community and the wider world.

The poster in Figure 3, which was prepared by various students in the TLS, highlights the connections between the knowledge covered in class and plastics in real life. When preparing it, the students developed their personal autonomy by considering, choosing and deciding which everyday objects they could include in the poster to represent the different types of plastics and the critical analysis of the information to be presented. In this way, students were able to understand the diversity of plastics and their limitations in the processes of recycling or degradation.

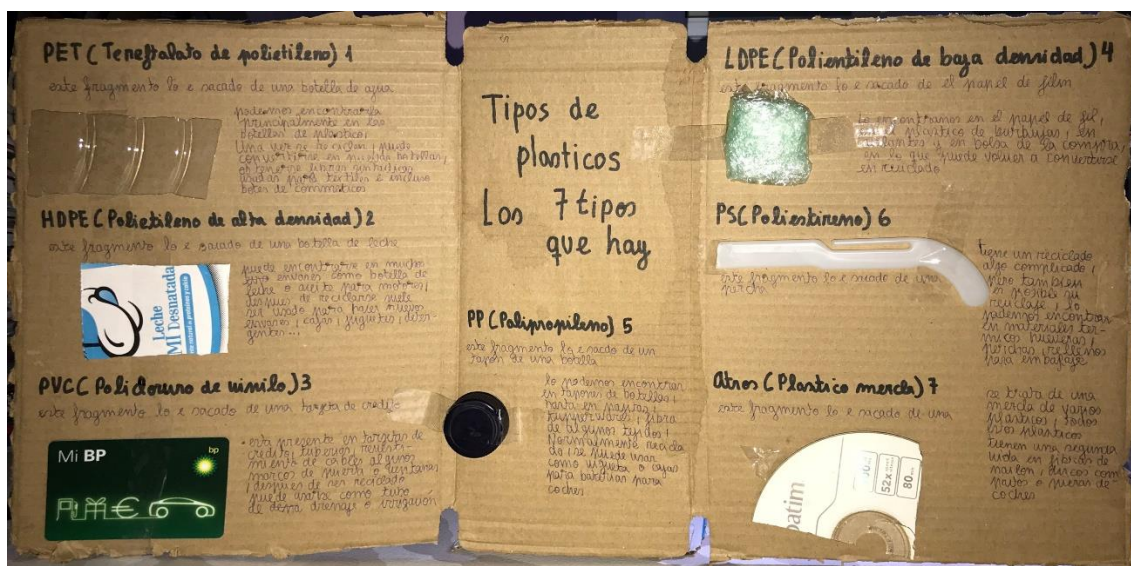


Figure 3. Poster concerning the types of plastics prepared by grade-8 students

[1. PET (polyethylene terephthalate): Mainly found in plastic bottles. Once recycled, it can be converted into new bottles, synthetic fibres for textiles or cosmetics packaging. 2. HDPE (High density polyethylene): Found in packaging such as bottles for milk or engine oil. After being recycled it is usually used to make new packaging, boxes, toys, detergents, etc. 3. PVC (Poly(vinyl chloride)): Found in credit cards, pipes, cable coatings or door and window frames. After being recycled it can be used as drainage or irrigation pipes. 4. LDPE (Low-density polyethylene): Found in kitchen film, bubble wrap in insulation and shopping bags. 5. PP (Polypropylene): Found in bottle tops and drinking straws. Once recycled, this plastic can be used as boxes for car batteries. 6. PS (Polystyrene): Found in coat hangers, insulation materials used in fridges, for example, or filling for packaging. Difficult to recycle. 7. Others (mixed plastics): This is a mixture of several plastics that can be reused in nylon fibres, compact discs or car parts].

After the activity, and based on the information they obtained, students made a critical and personal assessment of plastic production despite its problems regarding degradation and contamination.

The posters were presented in the chemistry classroom so that other students and teachers could see them and undertake to recycle plastics. This activity helped the recycling programs already underway at the school.

A rubric that included aspects related to the poster and its oral presentation was used to evaluate the task. Specifically, the chemical understanding shown in the poster (types of plastics, composition, properties and applications), the quality of the scientific information and the oral communication skills were evaluated. All items were scored at one of three levels: high, medium and low.

As indicated, the understanding must be sequenced using a systems thinking approach, which is why it is essential to have both a macroscopic and sub-microscopic vision of the chemistry of plastics. An understanding of their composition and internal structure will

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

allow the slow degradation of plastics and their environmental effects to be understood. Task 2 in the TLS helps to acquire this understanding by modelling the internal structure of plastics, in other words how the monomers are linked to obtain the polymer, with paper clips, thus allowing this structure to be linked to the chemical properties and different types of plastics (Figure 4).¹⁷

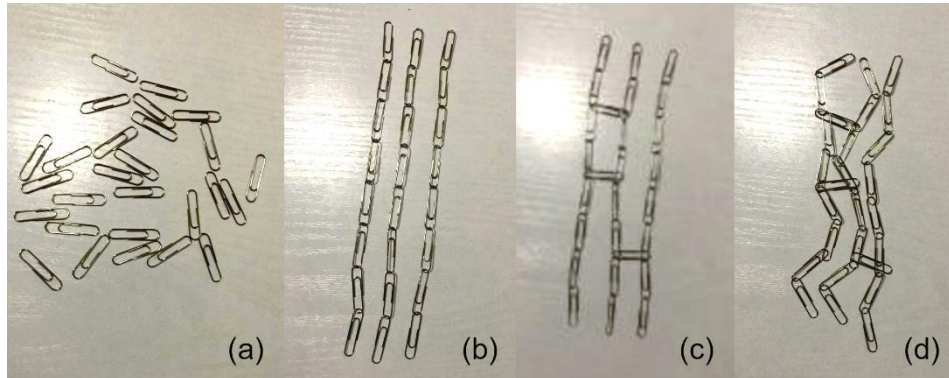


Figure 4. Modelling plastics using paper clips: (a) monomers, (b) linear polymers, (c and d) cross-linked polymers

Schuffer et al.¹⁸ confirmed the efficacy of this type of tasks in a similar study in which chemistry model kits were used to explain the structure and polymerization of plastics from polyethylene and poly(vinyl chloride) monomers by way of hands-on demonstrations. In that study, the students concluded that the chemistry of plastics guides the breakdown into microplastics and, therefore, the environmental effects.

At the end of the TLS, the understanding acquired, the critical analysis of information and the personal autonomy shown by the participants in the TLS were evaluated using a questionnaire (Supporting Information) that included open (What have you learned?) and multiple-choice questions (Do you think all plastics are the same? [Post-test, question 2] Can all plastics be reused and recycled? [Post-test, question 3] or Can all plastics be used to manufacture water bottles? [Post-test, question 4]).

Students indicated that they had learned how to gather information and analyse it critically, with 60% (N=40) of them showing their learning with statements such as: “I have learned how to search for and analyse information about types of plastics, their composition, properties and applications in a reliable manner” or “to identify different types of plastics at home and search for their characteristics correctly”.

The tasks proposed helped the majority of students to correctly recognise, in the multiple-choice questions, that not all plastics are equal and that there are different types with different properties (100% of students); that not all plastics can be reused or recycled as this depends on their chemical structure (82.5%); or that not all types of plastics can be used to manufacture objects destined for food use (72.6%).

3.2. Understanding and Vision of Chemistry

The acquisition of understanding must allow students to obtain a global view of chemistry, i.e., one that identifies its multiple relationships with society, the environment and technology. In the SSI that we use as an example, students could ask themselves why plastics are a problem for the environment, relating this to their composition and chemical properties, how long they take to degrade, and what effects microplastics appear to have on the health of people and animals.

The inquiry task concerning the consumption or degradation of plastics, or how they pollute (task 3) was intended to provide this global overview of chemistry. As a scientific activity, inquiry is a complex process of constructing meanings and conceptual models, formulating questions, designing procedures to find answers, understanding and building new knowledge shared with others, and productively applying knowledge to unfamiliar situations.¹⁹

Carrying out an inquiry shifts the focus onto the student, with the teacher acting as a facilitator or guide in the learning construction process. In the TLS, students find out if different types of plastics degrade on their own, how long they take to degrade, and what environmental impact this might have if the decomposition time is lengthy.²⁰ To that end, they place equal samples of these materials on an outdoor clothesline for 100 days and keep a daily record of how their properties change (whether they crease, bend, get wet, become stained, etc.).²⁰

Students develop arguments to reach agreements on how to carry out the inquiry and propose different explanatory models to explain the changes that occur at the molecular level. Students did not receive initial information on degradation and related issues. However, they were able to draw conclusions. The most relevant evidence obtained by students in their studies includes identification of the following relationships: a loss of elasticity of plastics produces creases and folds; water causes the appearance of stains or dirt; the chemical reactions of oxidation or degradation of pigments cause colour changes; some microorganisms degrade some components of plastics, causing smells; and the loss of cohesion is responsible for the separation of fibres or for pieces falling off.²⁰

The scope of the understanding about plastics in grade-8 students (N=54) as regards their views of chemistry was evaluated by applying a questionnaire before and after the TLS. The results showed that, although students had an important initial understanding of this topic, the TLS helped them to improve their view of chemistry, with higher correct response percentages being found in the post-test for the items origin of plastics [Pre/post-test, question 5] (pre: 72.7, post: 83.3), degradation of plastics [Pre/post-test, question 8] (pre: 85.2, post: 85.1), effects of contamination with plastics [Pre/post-test, question 9] (pre: 96.3, post: 100.0), presence of plastics in oceans [Pre/post-test, question 10] (pre: 72.2, post: 90.5) and formation of microplastics [Pre/Post-test, question 7] (pre: 33.3, post: 76.2), for which a marked improvement was observed.²¹

3.3. Chemistry-related argumentation and a holistic approach to problems

Some two decades ago, Driver, Newton and Osborne²² illustrated the central role that argumentation should have in science education, both in the social construction of scientific knowledge and the interpretation of empirical data. Hence, it is important to provide opportunities in chemistry education to address argumentation, as it is not a skill that emerges spontaneously. For this, young people need to be able to identify claims, evidence and warrants in different arguments, and to construct arguments and counter-arguments.²³ Several authors have suggested that, through students' engagement with the topic and their powers of reasoning, SSI are ideal for fostering the insight and reasoning underlying science.²⁴

The TLS provides different opportunities for students to prepare both oral and written arguments, including a role-playing (task 4). This activity is ideal as it requires students to prepare arguments and exposes them to conflicting positions and their rationale, which in the SSI for plastics may be expressed by an environmental activist or a chemist working for a plastics company when asked about the options for eliminating these materials.

A role-play allows students to acknowledge the existence of opposing points of view, search for information, rationalise, discuss and finally take a definite standpoint and reasoned decision on the SSI. A role-play around plastics would allow students to learn about the chemistry of these materials, formulate arguments about everyday issues, relate those arguments to public policy, and think critically about how the history of science and technology provides insights into contemporary life and considers multiple points of view.²⁵

The role-play in task 4 is based on the use or non-use of single-use plastics and the passing of a hypothetical law that would regulate this. This is a simulation game in which students take on the roles of characters directly involved in the SSI, such as the owner of a plastics company, a worker in a factory making disposable plastic products, a fisherman concerned about the presence of microplastics in fish, or an environmental scientist, amongst others. Thus, the introduction of roles that voice opinions for and against the SSI is beneficial in raising awareness of different positions and providing opportunities to develop arguments and counter-arguments. Preparation of the role-play also requires the search and critical analysis of information. It is also of value that students are able to defend a position with which they disagree. The interested reader can find the complete implementation of the role-playing in an article published in this journal previously.²⁶

Students had previously worked in the subject on constructing arguments using a simplification proposed by Erduran²⁷ for the Toulmin model²⁸, in which the main elements of a good argument are claim, evidence, warrant and rebuttal. The progress made by students in argumentation about chemistry in this task was evaluated using Erduran's approach²⁷. The quality of the arguments provided by the students was analysed by categorising them into four levels: arguments corresponding to experiences (level 0), arguments that included claim and evidence (level 1), arguments that included claim, evidence and warrant (level 2) and arguments with claim, evidence, warrant and

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

rebuttal (level 3). Moreover, the type of evidence used will give some idea of to what degree the student understood the problem in general.

As an example, the progress made by a student in terms of ability to argue about chemistry before and after role-playing can be seen when that person was asked to argue whether he was in favour of banning single-use plastics or against. Before role-playing, the quality of the argument given (“I’m in favour of the ban. I think that plastics will be removed slowly or that will be attempted.”) was level 0 as this only showed his stance in favour of a ban based on his opinion, with no supporting evidence or warrant. However, after role-playing the argument was level 2 (“I’m in favour of a ban as objects made from these plastics can be manufactured using other materials, such as cardboard, paper or biodegradable plastics and, although this may be slightly more expensive, it will help to reduce plastic production and environmental damage.”). As can be seen, the claim is still in favour but the student now justifies the reduction in plastics and environmental benefit based on two pieces of evidence (alternatives made from other materials and financial aspects). Although the first piece of evidence is in favour of his argument and the second against, the student was able to prioritise them to arrive at a claim.

Generally speaking, the majority of students made progress in terms of their level of argumentation. Moreover, it was found that those students who used arguments with evidence relating to the chemical properties of plastics or their molecular structure presented higher argumentation levels.

In addition, another measurement of the quality of argumentation is given by the ability of students incorporate the different dimensions involved in the SSI (chemical, environmental, financial, social, healthcare, etc.) into their arguments. This was achieved partially, therefore we must continue to make an effort to ensure that students are able to offer arguments that provide a holistic vision of the SSI.

3.4. Decision-making

Applying scientific knowledge in the decision-making process regarding SSI is essential nowadays.²⁹ Decision-making is becoming increasingly important in chemistry education because citizens are confronted in their daily lives with chemistry-related situations, the repercussions of which have an impact both on individuals and across the globe. Regarding the SSI we are focused on, one example of decision-making is the question of whether to take a shopping trolley to the supermarket or buy a plastic bag. Decision-making does not always have an impact at the scientific-technological level, but it can have repercussions at the social, ethical or economic level, hence the importance of approaching the SSI from all perspectives. According to Sadler³⁰ the decision made by students depends on whether the problem is local or global, since in the first case, their personal factors predominate to the detriment of scientific knowledge, while in global issues, personal factors mediate scientific knowledge. Decision-making is a complex skill as it is highly interdependent on other skills. Thus, acquiring knowledge about an SSI, gaining a holistic insight into the problem, analysing information, debating with others to discover reasoned alternative positions, and personal autonomy all play a major role.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Task 4²⁶ required students to make a decision before and after role-playing to determine the impact of the arguments presented by the different characters. The percentage of students in favour of and against the ban during role-playing was compared at both times. The majority of students (77.8%) maintained their original opinion after role-playing, with only 22.2% changing their decision. These changes were from in favour of a ban to against or undecided, but never from against to in favour. After the role-playing, two types of students are against the ban: those initially already holding this position (5.6%) and those who showed a change of opinion after the debate (16.6%).²⁶ Arguments related to the use of plastics during the COVID pandemic (when the task was carried out) and the power of the ideas debated to convince, both influenced the changes of decision.

3.5. Communication about Chemistry

Communicating the SSI to society is the last skill that needs to be developed. Such communication allows students to share their experiences and knowledge with their families, other students, and community members. This can be achieved by using different formats (oral presentations, science fairs, etc.). The decisions taken and the results obtained should be communicated.

As a communication activity, an audio story about the SSI was designed and recorded³⁰ by students (task 5). This activity allowed possible misconceptions about the SSI, the knowledge students considered most important or the different aspects of the SSI they addressed to be identified. In this case, the protagonist of the audio story had to be a plastic.

A transcribed fragment of an audio story created by a student that shows some physical and chemical transformations undergone by plastics as they slowly degrade is provided below:

“Once upon a time there was a plastic called Plasticblue [...] Plasticblue was really bored as he’d been floating in the water for millions of years. He had visited both the North and South poles, the Great Pacific Garbage Patch and even the bottom of the ocean. He left bits of himself behind wherever he went as he was slowly falling apart to form microplastics. One day he began to feel sick and his body wasn’t as blue [...] He asked Glassgreen what was happening to him. Glassgreen told him that he had started to degrade as sunlight was breaking his bonds and he should go and recycle himself as soon as possible [...] The recycling plant gave him a new life”.

The chemical communication of students was evaluated by analysing different aspects of the audio stories (N=20),³¹ such as the aspects covered and their chemical suitability, the characters and scenes or the moral. The understanding included was analysed initially (second column in Figure 2), finding that many audio stories covered more than one aspect and that the stories concentrated more on environmental (contamination: 53.3%; solutions: 20.1%) rather than chemistry-related aspects (types of plastics, properties and applications: 13.3%; composition and structure: 13.3%).

The chemical suitability of the understanding was evaluated using the categories: suitable understanding (e.g. “I am a biodegradable plastic made from cellulose and starch”),

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

inaccurate understanding (“while plasticine was floating in water, the sun’s rays degraded it”, an example that does not use the term photodegradation) or incorrect understanding (“the tortoise told the polystyrene that it should go to the yellow container for recycling and therefore not contaminate any more”), an example which uses a plastic that cannot be recycled instead of one which can.

Analysis of the characters in the stories showed the diversity of the types of plastics and their composition and properties. The natural environment was the main setting (44%) in which the stories were based. The morals transmitted a teaching about plastics related to the environment in most cases (“we should try not to throw plastics on the floor as the journey made by the plastic is very long. If it reaches the sea it may be swallowed by a fish, which will then be eaten by us, and that is how we end up eating our own plastic”).

This ability to communicate should be the first step that leads to action. In this way, citizens can be empowered through their active engagement with the SSI³² and propose initiatives and solutions to the problems involving chemistry.

4. Final Considerations

The development of critical thinking skills would allow chemistry education to progress in its ability to propose solutions for some of the SSI in which chemistry and society are involved, such as the environmental problem caused by plastics. Chemistry education should contribute to shaping responsible citizens who are aware of the reality around them, who analyse it critically and who are conscious of the fact that the decisions they make in their daily lives have global consequences. Given its importance, several authors^{29,33} argue that in order to advance in the development of these skills, opportunities must be offered within science classrooms.

Using different tasks, this study has provided evidence that contributes to the development of critical thinking skills in Spanish grade 8 school students, along with some examples of how the progress of these students can be evaluated. The results showed that significant progress had been made in the development of critical thinking skills by students. In this sense, the ideas presented in the paper are aimed at inspiring other teachers to take action. We can conclude that the development of critical thinking skills in chemistry is complex and can be promoted by reformulating chemistry study plans to concentrate on SSIs.

5. Acknowledgements

This work is part of the R&D project, reference PID2019-105765GA-I00, entitled “Citizens with critical thinking: A challenge for teachers in science education”, financed by the Spanish Government in the 2019 call. The study was conducted in accordance with the protocol was approved by the Ethics Committee on Experimentation of University of Malaga (Spain) (CEUMA) with reference 31-2022-H.

6. References

1. Santos, L.F. The role of critical thinking in science education. *Online Submission* **2017**, 8(20), 160-173.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

2. Klemeš, J.J.; Fan, Y.V.; Jiang, P. Plastics: friends or foes? The circularity and plastic waste footprint. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* **2021**, *43*(13), 1549-1565.
3. Rillig, M.C.; Lehmann, A. Microplastic in terrestrial ecosystems. *Science* **2020**, *368*(6498), 1430-1431.
4. Chen, L.; Xiao, S. Perceptions, challenges and coping strategies of science teachers in teaching socioscientific issues: A systematic review. *Educational Research Review* **2021**, *32*, 100377.
5. Owens, D.C.; Sadler, T. D.; Friedrichsen, P. Teaching practices for enactment of socio-scientific issues instruction: An instrumental case study of an experienced biology teacher. *Research in Science Education* **2021**, *51*(2), 375-398.
6. Taconis, R.; Den Brok, P., Eds., *Teachers creating context-based learning environments in science*. Springer: Rotterdam (Netherlands), 2016.
7. Bezanilla, M.J.; Fernández, D.; Poblete, M.; Galindo, H. Methodologies for teaching-learning critical thinking in higher education: The teacher's view. *Thinking Skills and Creativity* **2019**, *33*, 100584.
8. Dekker, T.J. Teaching critical thinking through engagement with multiplicity. *Thinking Skills and Creativity* **2020**, *37*, 100701.
9. Renatovna, A.G.; Renatovna, A.S. Pedagogical and psychological conditions of preparing students for social relations on the basis of the development of critical thinking. *Psychology and Education* **2021**, *58*(2), 4889-4902.
10. Jiménez-Aleixandre, M.P.; Erduran, S. Argumentation in science education: An overview. In *Argumentation in science education. Perspectives from Classroom-Based Research*; Erduran, S., Jiménez-Aleixandre, M.P., Eds.; Springer: Dordrecht, 2007; pp 3-27.
11. Osborne, J. Teaching critical thinking. New directions in science education? *School Science Review* **2014**, *352*, 53-62.
12. Blanco, Á.; España, E.; Franco-Mariscal, A.J. Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. [Teaching strategies for the development of critical thinking in the teaching of science]. *Ápice, Revista de Educación Científica* **2017**, *1*(1), 107-115.
13. Mahaffy, P.G.; Brush, E.J.; Haack, J.A.; Ho, F.M. Journal of Chemical Education Call for Papers Special Issue on Reimagining Chemistry Education: Systems Thinking, and Green and Sustainable Chemistry. *Journal of Chemical Education* **2018**, *95*(10), 1689-1691
14. Guron, M.; Slentz, A.E. Novel Interdisciplinary Systems-Based Approach to Teaching Sustainability in Plastics. *Journal of Chemical Education* **2021**, *98*(12), 3767-3775.
15. López-Fernández, M.M.; González-García, F.; Franco-Mariscal, A.J. Desarrollo de prácticas científicas en una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre la contaminación por plásticos en educación secundaria obligatoria. [Development of scientific practices in a teaching-learning sequence on plastic pollution in compulsory secondary education]. In *Enseñanza de las ciencias y problemas relevantes de la ciudadanía* [Science education and relevant problems of

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- citizenship]; Cebrián, D., Franco-Mariscal, A.J., Lupión, T., Acebal, M.C., Blanco, Á., Eds.; Graó: Barcelona (Spain), 2021; pp. 51-64.
16. Smolkin, L.B.; Donovan, C.A. Science and literacy: Considering the role of texts in early childhood science education. In *Research in Early Childhood Science Education*; Cabe, K., Saçkes, M., Eds.; Springer: Dordrecht, 2015; pp. 211-236.
 17. Hogue, L.; Blake, B.; Sarquis, J.L. Classifying Matter: A Physical Model Using Paper Clips. *Journal of Chemical Education* **2006**, 83(9), 1317-1318.
 18. Schiffer, J.M.; Lyman, J.; Byrd, D.; Silverstein, H.; Halls, M.D. Microplastics outreach program: a systems-thinking approach to teach high school students about the chemistry and impacts of plastics. *Journal of Chemical Education* **2019**, 97(1), 137-142.
 19. European Commission. *Science education for responsible citizenship*; Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2015.
 20. López-Fernández, M.M.; Franco-Mariscal, A.J. Indagación sobre la degradación de plásticos con estudiantes de secundaria. [Inquiry about the degradation of plastics with high school student]. *Educación Química* **2021**, 32(2), 21-36.
 21. López-Fernández, M.M.; Franco-Mariscal, A.J. Evolución de los conocimientos e intereses de los estudiantes del primer ciclo de secundaria obligatoria sobre los plásticos y su contaminación. [Changes in lower secondary school students' knowledge and interests in plastics and plastic pollution]. In *Investigación y metodologías en la enseñanza de las ciencias*; Membiela, P., Cebreiros, M.I., Vidal, M., Eds.; Educación Editora: Ourense (Spain), **2020**, pp. 287-296.
 22. Driver, R.; Newton, P.E.; Osborne, J. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education* **2000**, 84(3), 287-312.
 23. Osborne, J.F.; Henderson, J.B.; MacPherson, A.; Szu, E.; Wild, A.; Yao, S.Y. The development and validation of a learning progression for argumentation in science. *Journal of Research in Science Teaching* **2016**, 53(6), 821-846.
 24. Walker, K.A.; Zeidler, D.L. Promoting discourse about socioscientific issues through scaffolded inquiry. *International Journal of Science Education* **2007**, 29(11), 1387-1410.
 25. Cook, D.H. Conflicts in chemistry: The case of plastics, A role-playing game for high school chemistry students. *Journal of Chemical Education* **2014**, 91(10), 1580-1586.
 26. López-Fernandez, M.M., González-García, F.; Franco-Mariscal, A.J. Should We Ban Single-Use Plastics? A Role-Playing Game to Argue and Make Decisions in a Grade-8 School Chemistry Class. *Journal of Chemical Education* **2021**, 98(12), 3947-3956.
 27. Erduran, S. Methodological foundations in the study of argumentation in science classroom. In *Argumentation in Science Education. Perspectives from Classroom-Based Research*; Erduran, S., Jiménez-Aleixandre, M.P., Eds.; Springer: Dordrecht, 2007; pp 47-69.
 28. Toulmin, S.E. *The uses of the argumentation* (3rd. edition); Cambridge University Press: Cambridge, 2003.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

29. Zohar, A.; Nemet, F. Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching* **2002**, 39(1), 35-62.
30. Sadler, T.D. Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching* **2004**, 41(5), 513-536.
31. López-Fernández, M.M.; Franco-Mariscal, A. J. El audiocuento como recurso didáctico para abordar los plásticos y la contaminación en educación secundaria. [The audio story as a didactic resource to deal with plastics and pollution in secondary education]. IV Encontro Nacional de Jogos e Atividades Lúdicas no Ensino de Química, Física e Biologia. Rio de Janeiro, **2021**.
32. Cebrián, D.; España, E.; Reis, P. Introducing preservice primary teachers to socioscientific activism through the analysis and discussion of videos. *International Journal of Science Education* **2021**, 43(15), 2457-2478.
33. Darmaji, D, Kurniawan, D.A., Astalini, A., Perdana, R., Kuswanto, K., Ikhlas, M. Do a science process skills affect on critical thinking in science? Differences in urban and rural. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, **2020**, 9(4), 874-880.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

7. Associated Content

Questionnaire for evaluation of the teaching-learning sequence (pre-test and post-test)

Part A. Indicate the correct answer to the following questions:

1. Where do you think the plastic comes from?
 The plastic is extracted directly from nature It is a petroleum derivative They are produced by living animals and plants
2. Do you think all plastics are the same?
 No, there are different types Yes, they are all the same I don't know
3. Can all plastics be reused and recycled?
 Yes, but not everybody recycles them Yes, that's why all plastics are recycled No, some can be but others can't
4. Can all plastics be used to manufacture water bottles?
 No, because some are difficult to extract No, because some may be toxic Yes, because plastics can be molded
5. Pollution by plastics is due to...
 The large quantities of plastics only Their limited ability to degrade, together with other factors Their limited utility
6. What are single-use plastics?
 Plastics which people use once and then throw away Plastics that can only be used once All of them, as we shouldn't reuse them.
7. How are microplastics formed?
 From petroleum, for use in very small things The environment generates very small fragments from a larger plastic In recycling plants, as a prior step in plastics manufacture
8. Degradation of the plastic...
 Is very slow and its characteristics barely change over time Is slow, it is degraded in a few weeks It degrades very quickly, in only a few hours

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

9. Pollution by plastics affects...

- Only the oceans Only living things The entire Earth

10. The plastics found in the sea may be...

- There for only a short time as they degrade easily Only on the surface Found at depths of thousands of metres

11. Do you think you may have small pieces of plastic in your stomach?

- No, I don't think so A large proportion of the population may have Yes, we all have some

12. In the fight against plastics pollution, the use of single-use plastics is going to be banned in 2021. Do you consider measures such as these to be sufficient?

- No, more actions are needed Yes, we have to start somewhere Yes, measures such as these are sufficient

Part B. Open questions:

13. Would you like plastics to be eliminated? Why?

14. What consequences do you think plastics pollution may have in living things?

15. Write some measures that you can take to reduce plastics pollution.

16. Write some measures to help restore ecosystems polluted with plastics.

17. Why do you think the plastics found on beaches and in the sea are not collected?

18. Why do you think that plastics continue to be produced even though they are polluting?

19. Why do you continue to use plastics even though they are polluting?

20. What have you learned? (*Question only in post-test*).

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Artículo 3. Indagación sobre la degradación de plásticos con estudiantes de secundaria

Datos de la publicación



Tipo de publicación: Artículo

Título: Indagación sobre la degradación de plásticos con estudiantes de secundaria

Autores: María del Mar López Fernández y Antonio Joaquín Franco-Mariscal

Año: 2021

Revista: Educación Química

Número y volumen: 32(2)

Páginas: 21-36

DOI:

<http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.2.76553>

Enlace:

<http://www.revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/76553/69884>

Idioma del artículo: Castellano

Indicadores de calidad:

- Base de datos: **SJR (Scopus)** (2021).

Categoría: Educación. Cuartil: Q4.

Categoría: Química. Cuartil: Q3.

Factor de impacto 0.19

- Base de datos: **Latindex**.

33 características cumplidas

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Objetivos y preguntas de investigación que responde el artículo:

Objetivo general 2. Diseñar, implementar y evaluar una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje centrada en la contaminación ambiental por plásticos que permita desarrollar habilidades de pensamiento crítico a través de distintas estrategias en estudiantes de 2º de E.S.O.

Objetivos específicos:

(2.2). Analizar las habilidades de pensamiento crítico (visión de la química y conocimientos) que los estudiantes de secundaria desarrollan en una actividad de indagación sobre la degradación ambiental de plásticos, incluida en la Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje.

Preguntas de investigación

- f) ¿Qué ideas iniciales e hipótesis plantean los estudiantes sobre la degradación de plásticos expuestos a la intemperie? (Objetivo específico 2.2).
- g) ¿Qué cambios en los plásticos observan los estudiantes a lo largo del tiempo al desarrollar la indagación? ¿Qué modelos explicativos proponen para justificar los cambios observados? (Objetivo específico 2.2)
- h) ¿Cómo explican la degradación producida en los plásticos durante el tiempo de exposición? ¿Qué conclusiones obtienen? (Objetivo específico 2.2).
- i) ¿Cómo vinculan los resultados obtenidos en su indagación con los efectos ambientales? (Objetivo específico 2.2).

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Resumen: La contaminación por plásticos supone un reto social y educativo con una necesidad urgente de respuesta. La práctica científica de indagación se muestra como un enfoque adecuado para afrontar este problema en la educación secundaria al permitir desarrollar destrezas de investigación y actitudes hacia la química. Este trabajo presenta una indagación sobre la degradación de plásticos en el medio natural llevada a cabo con estudiantes españoles de secundaria (14-15 años), donde aprenden sobre sus posibles transformaciones físicas y químicas, y sus consecuencias para el medio ambiente.

Palabras claves: indagación, plásticos, degradación, educación secundaria

Abstract: Plastic pollution represents a social and educational challenge that requires an urgent response. Scientific practice of inquiry is an adequate approach to face this problem in secondary school. It allows to develop investigatory skills and attitudes towards chemistry. This paper presents the findings of an inquiry about the degradation of plastics in the natural environment carried out with Spanish high school students (14-15 years old) who learned about their possible physical and chemical transformations, and their environmental impact.

Keywords: inquiry, plastics, degradation, secondary education

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

1. Introducción

1.1. El problema de los plásticos y su degradación

Los materiales poliméricos o macromoléculas formadas por la unión mediante enlaces covalentes de sustancias más simples (Barroso, Gil y Camacho, 2008) presentaron su mayor crecimiento en la segunda mitad del siglo pasado, compitiendo en muchas aplicaciones con los materiales metálicos y vidrios convencionales. Esta proliferación se debe a sus propiedades: baja conductividad eléctrica y térmica, transparencia u opacidad según su grado de cristalinidad, gran ductilidad y maleabilidad, baja resistencia mecánica y moderada tenacidad, escasa rigidez, buena resistencia a la corrosión y baja temperatura de uso.

Algunos de estos polímeros se encuentran en la naturaleza y son útiles para el hombre, como resinas, ámbar, seda o gomas vegetales. Posteriormente, se desarrollaron los primeros polímeros sintéticos, obtenidos a partir de la modificación de polímeros naturales como el caucho, la caseína, la ebonita o el celuloide. Estos son considerados como antecesores de los plásticos modernos. La fabricación de la baquelita como el primer plástico sintético termoestable en 1909 supuso el comienzo de la nueva era del plástico (García, 2009), que se mantiene hasta hoy día, puesto que en los últimos años se han desarrollado nuevos polímeros capaces de sustituir a ciertos materiales, debido a las excelentes propiedades de resistencia y rigidez (Barroso, Gil y Camacho, 2008).

En la actualidad, los plásticos se producen de forma masiva para dar cabida a nuevas necesidades, lo que promueve un consumo incesante de los mismos. La mayor parte de los materiales plásticos producidos se emplean en la fabricación de productos de un solo uso como envases o botellas (Jaén, Esteve y Banos-González, 2019)

Sin embargo, el verdadero problema de los plásticos ocurre cuando finaliza su vida útil, donde son varias las posibilidades. Una de las opciones es el depósito en los vertederos, aunque esta opción está siendo eliminada, ya que deteriora el paisaje y su descomposición conjunta con la de otros tipos de residuos origina una fuerte producción de metano. Una segunda opción es la combustión para producir energía, aunque esto genera grandes cantidades de gases contaminantes. La tercera posibilidad es el reciclado, pero exige una eficiente separación, a veces complicada, donde no todos los plásticos son reciclables y donde los ciudadanos juegan un papel importante (Arandes, Bilbao y López, 2004). Todas estas razones hacen que solo el 15% de los residuos plásticos se reciclen.

Si no tiene lugar ninguna de las alternativas expuestas, el destino final de los plásticos es la naturaleza, y mayoritariamente el océano, donde comienza su degradación, entendida como un amplio conjunto de procesos. Esta puede ser degradación térmica, por radiaciones, mecánica, química y biológica (Posada, 2012):

- La degradación térmica consiste en la descomposición de las moléculas en fragmentos más pequeños debido a que sus uniones tienen una resistencia limitada, la cual es vencida por el calor.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- Las radiaciones de alta energía son capaces de formar y romper enlaces químicos o eliminar grupos no saturados, mientras que la radiación ultravioleta de la luz solar produce reacciones químicas que los hace frágiles y los decolora.
- La degradación mecánica tiene como consecuencia efectos macroscópicos como la fractura y deformación producidos por el influjo de fuerzas, así como los cambios químicos inducidos por los esfuerzos mecánicos.
- La degradación química son los cambios que se producen en los plásticos por la acción de reactivos químicos. Los disolventes son las sustancias más agresivas, aunque la absorción de agua también produce cambios en la naturaleza (degradación hidrolítica).
- La biodegradación es la degradación y asimilación por seres vivos, generalmente por microorganismos como hongos, bacterias y actinomicetos, y se debe a la acción de sus enzimas.

Asimismo, la degradación de los plásticos depende de factores como el tipo de polímero, la edad y las condiciones ambientales (temperatura, irradiación, pH, etc.) pero, independientemente de esto, el proceso es muy lento (Smith, Love, Rochman y Neff, 2018). En cualquier caso, la consecuencia inmediata de la degradación es la fragmentación del material dando lugar a miles de fragmentos denominados microplásticos. Estas partículas son ingeridas por las especies marinas y por este medio pasan al resto de la cadena trófica (Jaime, Labrada y Hernández, 2018).

1.2. La práctica científica de indagación como enfoque metodológico

Desde el punto de vista de la educación química, el consumo, la contaminación y degradación de los plásticos se convierte en un problema a abordar en el aula, que queda recogido en el bloque 3 del currículo de química del tercer curso (14-15 años) de la educación secundaria obligatoria en España (MEC, 2015), tanto en los contenidos a tratar como en la evaluación, desglosándose para este último en criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables (tabla 1). Como se observa, debemos resaltar, por un lado, la importancia de la industria química en la sociedad, en este caso, en la fabricación de plásticos, y por otro, los efectos en el medioambiente.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Tabla 1. Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizajes evaluables (MEC, 2015)

Contenidos		Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 3. Los cambios	La química en la sociedad y el medio ambiente	<p>3.6. Reconocer la importancia de la química en la obtención de nuevas sustancias y su importancia en la mejora de la calidad de vida de las personas.</p> <p>3.7. Valorar la importancia de la industria química en la sociedad y su influencia en el medio ambiente.</p>	<p>3.6.1. Clasifica algunos productos de uso cotidiano en función de su procedencia natural o sintética.</p> <p>3.6.2. Identifica y asocia productos procedentes de la industria química con su contribución a la mejora de la calidad de vida de las personas.</p> <p>3.7.1. Describe el impacto medioambiental del dióxido de carbono, los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno y los CFC y otros gases de efecto invernadero relacionándolo con los problemas medioambientales de ámbito global.</p> <p>3.7.2. Propone medidas y actitudes, a nivel individual y colectivo, para mitigar los problemas medioambientales de importancia global.</p> <p>3.7.3. Defiende razonadamente la influencia que el desarrollo de la industria química ha tenido en el progreso de la sociedad, a partir de fuentes científicas de distinta procedencia.</p>

La temática expuesta supone que los educadores debemos implicarnos en tareas de concienciación ciudadana que permitan afrontar los problemas ambientales que amenazan la vida en nuestro planeta. Para lograr el objetivo de desarrollar compromisos encaminados al futuro sostenible, es necesario analizar críticamente las amenazas presentes entre los seres humanos y el medio ambiente (Jaén, Esteve y Banos-González, 2019). Responder a estas necesidades implica dejar a un lado la enseñanza de la química centrada en la memorización de conocimientos, con un aprendizaje superficial, no duradero en el tiempo, que mantiene las ideas alternativas de los fenómenos naturales y del medio físico para explicar el mundo, las cuales son frecuentemente contrarias a las científicas y con escasa repercusión en la vida de los estudiantes y en su capacidad para entender el entorno (Torres, 2019). Un enfoque de enseñanza-aprendizaje interesante para abordar este tema y promover la génesis del conocimiento científico escolar es a través de la práctica científica de la indagación, considerada hoy día una de las líneas más fructíferas y debatidas (NRC, 2000), reconocida por la Unión Europea como una metodología muy efectiva para mejorar la enseñanza de las ciencias.

La práctica científica de indagación puede entenderse como un proceso complejo de construcción de significados y modelos conceptuales, en el que se formulan cuestiones, se diseñan procedimientos para encontrar respuestas, se comprende y construye nuevo

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

conocimiento que se comunica a otros y se aplica el conocimiento de forma productiva a situaciones no familiares (European Commission, 2015). La indagación pone el foco en el estudiante, dejando al profesor como facilitador o guía dentro del proceso de construcción del aprendizaje (Reyes y Padilla, 2012).

Existe una gran diversidad de enfoques metodológicos de indagación en el aula (Rönnebeck, Bernholt y Ropohl, 2016) siendo uno de los más utilizados el denominado “5E learning cycle” (Bybee et al., 2006), que organiza la enseñanza en cinco etapas: Motivación-Involucramiento (Engagement), Exploración-Investigación, Explicación, Extensión-Elaboración y Evaluación. La propuesta de la NRC (1996) formula estas etapas de esta forma: (a) planteamiento de preguntas orientadas desde la ciencia que permitan la participación activa del alumnado, (b) recopilación de pruebas por parte del alumnado que permita el desarrollo y la evaluación de las propias explicaciones a las preguntas planteadas, (c) desarrollo de explicaciones para dar respuesta a las preguntas partir de las pruebas obtenidas, (d) evaluación de las explicaciones que pueden incluir explicaciones alternativas que reflejen una comprensión científica, y (e) comunicación y justificación de las explicaciones propuestas.

La literatura muestra cómo los diferentes autores modifican de forma variable estas propuestas. Del análisis de varias propuestas de indagación, Franco-Mariscal (2015) concluyó que este enfoque consta de siete dimensiones competenciales: (a) planteamiento de la indagación, (b) manejo de información, (c) planificación y diseño de la indagación, (d) recogida y procesamiento de datos, (e) análisis de datos y emisión de conclusiones, (f) comunicación de resultados, y (g) actitud o reflexión crítica y trabajo en equipo.

En definitiva, el aprendizaje por indagación tiene una incidencia positiva sobre el desarrollo de competencias y destrezas de investigación, la comprensión conceptual de contenidos relacionados con el medio natural y los fenómenos físicos y químicos, y también sobre la actitud de los estudiantes hacia las ciencias en general, y la química en particular (Torres, 2019). Además, Chernicoff y Echeverría (2012) afirman que contribuye a desarrollar habilidades de pensamiento crítico ya que requiere que los estudiantes utilicen distintos procesos mentales durante las etapas de la indagación. Este aspecto resulta imprescindible para el desarrollo de una concienciación social, como respuesta a los nuevos desafíos que amenazan el medio ambiente.

2. Objetivos e hipótesis

El objetivo principal de este trabajo es presentar los resultados de una indagación realizada por estudiantes de secundaria sobre la degradación que se produce en diferentes materiales plásticos de uso cotidiano sometidos a condiciones ambientales durante un largo período de tiempo.

Como objetivos didácticos se persigue que el estudiante sea capaz de:

- (a) Comprender el problema que supone el consumo de plásticos para el medio ambiente y apreciar que, en períodos cortos de tiempo, la naturaleza produce cambios físicos en estos materiales, requiriéndose mucho tiempo para lograr transformaciones químicas.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

(b) Utilizar la indagación científica para estudiar la degradación que se produce en los plásticos, emitiendo hipótesis, diseñando experiencias, realizando observaciones relacionándolas con los agentes ambientales y las propiedades de los plásticos, tomando e interpretando datos de forma cualitativa, y emitiendo conclusiones.

La hipótesis planteada supone que la realización de este tipo de prácticas en el aula puede promover el interés de los estudiantes por los plásticos y su contaminación, y permitirá mejorar su actitud y conciencia ambiental ante este problema.

3. Metodología

3.1. Participantes

La muestra de este estudio estuvo formada por 25 estudiantes (12 chicos y 13 chicas) españoles de educación secundaria, de edades comprendidas entre 14 y 15 años, que cursaban una asignatura obligatoria de Química en un instituto de secundaria de Málaga (España).

3.2. Descripción de la indagación

A continuación se describe cómo los estudiantes desarrollaron las distintas etapas de la indagación a lo largo de más de un trimestre. Las decisiones en cada una de las etapas de la indagación se debatieron y acordaron en el aula en gran grupo para que fueran comunes a todo el alumnado. La parte experimental de recogida de datos fue realizada por cada estudiante de forma individual en su casa, lo que permitió hacer un seguimiento diario.

Planteamiento del problema

Se planteó al alumnado el problema de acumulación de basuras en su entorno, principalmente de plásticos, en parques o terrenos aún por construir de su barrio. Esta actitud les hizo preguntarse si estos materiales se descompondrán o degradarán por sí solos, cuánto tiempo necesitan para hacerlo y qué consecuencias podría tener si este tiempo de descomposición es muy largo.

Para dar respuesta a este problema, se propuso la realización de una indagación para estudiar la degradación de diferentes materiales plásticos expuestos al aire libre. La indagación propuesta fue de tipo abierta, según la clasificación de Reyes y Padilla (2012), donde el estudiante diseña el protocolo de investigación, partiendo de la pregunta dada, emite hipótesis, obtiene resultados, los analiza y extrae sus conclusiones hasta alcanzar la respuesta.

Diseño del experimento y elección de variables

Como materiales para el estudio (variables independientes de la indagación) se propuso a los estudiantes que buscaran diferentes plásticos con estos requisitos:

- Muestra 1: Plástico blanco y espesor fino.
- Muestra 2: Plástico blanco de mayor espesor que la muestra 1.
- Muestra 3: Plástico de color y espesor fino similar al de la muestra 1.
- Muestra 4: Plástico transparente y espesor grueso.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Con estas características, los estudiantes eligieron mayoritariamente bolsas de plásticos finas y blancas (muestra 1), bolsas blancas resistentes de supermercado (algunas con letras impresas) (muestra 2), bolsas finas coloreadas (muestra 3) y láminas transparentes gruesas de plástico de cuaderno (muestra 4).

Se acordaron como variables controladas las siguientes:

- Las dimensiones de los plásticos (15 x 10 cm).
- La duración de la indagación (100 días) en el período comprendido desde noviembre a febrero, que se eligió para asegurar las condiciones climáticas adversas de otoño e invierno.
- El lugar de exposición de los plásticos. Cada estudiante colgó sus materiales en casa en un tendedero donde estuvieran expuestos al sol, la lluvia, la humedad o el viento durante las 24 horas del día (figura 1).
- La forma de sujeción. Cada material se sujetó con una pinza y se mantuvo separado en todo momento del material contiguo.
- Número de muestras idénticas (tres) de cada plástico para conseguir reproducibilidad. Además, cada estudiante conservó un material original de cada muestra que no se expuso, para usarla como muestra de control y poder establecer los cambios que ocurrían en cada caso.



Figura 1. Lugar de exposición de uno de los estudiantes utilizado para la indagación

Para decidir entre todas las propiedades de los plásticos a evaluar (variables dependientes), se realizó una puesta en común en clase teniendo en cuenta los agentes atmosféricos que podrían afectar al plástico (sol, viento, lluvia, etc.). Tras la puesta en común, los estudiantes elaboraron la tabla 2 como instrumento para registrar diariamente las condiciones climatológicas y los cambios observables en los plásticos.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Tabla 2. Instrumento diseñado por los estudiantes para la recogida de datos

Fecha	Clima	Temperatura máxima y mínima (°C)	Precipitación (mm)	Muestra	Se arruga	Se dobla	Se moja por la lluvia	Aparecen manchas o suciedad	Cambios de color	Se separa en partes o fibras	Olor	Se hincha	Se desprende un trozo / Se deshace
				Plástico blanco de espesor fino									
				Plástico blanco de espesor grueso									
				Plástico de color de espesor fino									
				Plástico transparente y espesor grueso									

Emisión de hipótesis

Antes de iniciar la indagación se pidió a los estudiantes que emitieran hipótesis sobre la apariencia final de los plásticos después de 100 días a la intemperie.

Recogida y análisis de datos

Cada día, los estudiantes cumplimentaron la tabla de registro tras observar los cambios producidos en cada plástico por las dos caras. La recogida de datos incluía también la realización de una fotografía de cada muestra realizada siempre en las mismas condiciones. Posteriormente, los estudiantes debían relacionar los cambios observados con las propiedades de los plásticos responsables de estas transformaciones.

Establecimiento de conclusiones

Como última etapa de la indagación, los estudiantes debían emitir conclusiones a partir de los resultados obtenidos y verificar si las hipótesis planteadas se confirmaban o rechazaban. Asimismo, los estudiantes debían realizar una memoria incluyendo todas las etapas de la indagación.

4. Resultados

Planteamiento del problema e hipótesis del alumnado

De forma mayoritaria, los estudiantes mostraron estas ideas iniciales en torno al problema:

(a) En primer lugar, son conscientes de que los plásticos no se descomponen por sí solos y necesitan muchos años para su descomposición. Muchos estudiantes pensaban que probablemente 100 días sería insuficiente para que los plásticos se degradasen completamente, pero que ese tiempo les daría una idea de los principales cambios que tienen lugar en estos materiales.

(b) Este tiempo de descomposición tan largo tiene como consecuencias la contaminación del planeta Tierra al completo, encontrándose así plásticos en lugares recónditos, como a miles de metros de profundidad del océano o, puede que, incluso hasta en nuestro estómago.

Asimismo, plantearon para cada uno de los plásticos una hipótesis respecto a su aspecto final tras la indagación:

- Hipótesis 1: Los plásticos de menor espesor se acabarán rompiendo por el efecto de los agentes meteorológicos, mientras que los de mayor espesor no sufrirán cambios significativos debido a su gran resistencia.
- Hipótesis 2: El sol afectará a los plásticos coloreados o que tengan información impresa produciendo una pérdida de color.
- Hipótesis 3: Los plásticos blancos o transparentes no perderán color.

Condiciones ambientales durante la indagación

Las condiciones ambientales a las que se expusieron los plásticos fueron analizadas por los estudiantes dividiendo los 100 días de duración de la indagación por meses y quincenas. La tabla 3 recoge para cada uno de los períodos seleccionados, el clima predominante, las medias de temperaturas máximas y mínimas (en °C) y la precipitación acumulada (en mm), calculados a partir de los datos obtenidos de las aplicaciones móviles de los estudiantes.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Tabla 3. Condiciones ambientales durante la indagación

Período	Clima promedio	T ^a máxima media (°C)	T ^a mínima media (°C)	Precipitación acumulada (mm)
25 a 31 octubre	Soleado	22,5	11,5	0
1 a 15 noviembre	Soleado / lluvioso y ventoso	20,4	10,0	107
16 a 30 noviembre	Nublado	17,9	8,1	21
1 a 15 diciembre	Soleado	15,7	6,5	13
16 a 31 diciembre	Lluvioso y ventoso	15,0	5,5	1
1 a 15 enero	Lluvioso y ventoso	14,0	5,0	1
16 enero a 1 febrero	Ventoso	16,6	5,0	21
Precipitación total				164

La indagación se desarrolló con una temperatura máxima media que osciló entre 14,0 y 22,5 °C, una temperatura mínima media entre 5,0 y 11,5 °C, y una precipitación acumulada de 164 mm en el período estudiado, siendo nula la cantidad de nieve recogida en este período. Asimismo, los fenómenos meteorológicos mayoritarios fueron días nublados (31 % de los días), soleados (28 %), ventosos (22 %) y lluviosos (19 %). De este modo, los cambios de temperatura favorecen la degradación térmica y la presencia de días soleados y lluviosos, las degradaciones fotoquímicas e hidrolíticas, respectivamente.

Cambios observados

La tabla 4 recoge los cambios observados para cada plástico. En todos los casos se indica el día o período en el que ocurrió el cambio por primera vez en las distintas muestras. A continuación, se realiza una descripción de lo observado.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Tabla 4. Día o período de días en los que se observaron cambios en cada plástico para la mayoría de los estudiantes

Muestra	Se arruga	Se dobla	Se moja por la lluvia	Aparecen manchas /suciedad	Cambios de color	Se separa en partes o fibras	Olor	Se hincha	Se desprende un trozo / Se deshace
Bolsa blanca de espesor fino	2	11 a 15	No	35	42	No	No	No	No
Bolsa blanca con información impresa y espesor grueso	2	12	No	No	9	89	No	No	No
Bolsa coloreada y espesor fino	2	11	No	No	71	No	No	No	No
Plástico transparente y espesor grueso	47	No	No	No	No	No	No	No	No

Las observaciones realizadas en los plásticos mostraron dos cambios (arrugas y dobleces) como efectos más apreciables (figura 2). Al tratarse de un material impermeable, la lluvia no le afecta, lo que impide que se reblandezca y, por tanto, que se rompa. Cuando el plástico es más resistente como el de una libreta, solo sufre pequeñas arrugas y no se dobla. Otros cambios detectados, aunque no en todas las muestras, fueron la aparición de algunos puntos negros, probablemente debidos a la formación de algún tipo de moho debido a la lluvia o la rotura de una bolsa (figura 2). Solo en el caso de aquellas muestras con alguna parte impresa se produjo una leve pérdida de esta información.

La figura 3 muestra el estado inicial y final de cada plástico, observándose que 100 días son insuficientes para su degradación total, y ni siquiera parcial.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio


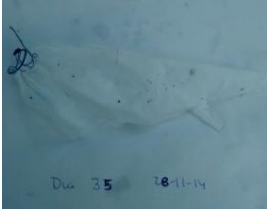


Bolsa blanca de espesor fino		Bolsa blanca de espesor grueso con información impresa	
Aparición de arrugas y dobleces (día 29)	Aparición de puntos negros (día 35)	Pérdida de color de la parte impresa (día 42)	Separación (día 89)
			

Figura 2. Cambios observados en las muestras de plástico: Arrugas y dobleces, aparición de puntos negros, pérdida de color en información impresa y rotura

Plástico	Antes de la indagación	Después de la indagación
Bolsa blanca de espesor fino		
Bolsa blanca de espesor grueso e impresa		
Bolsa coloreada de espesor fino		
Pasta de cuaderno transparente y espesor grueso		

Figura 3: Estado inicial y final de las muestras de plástico investigadas

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Relación entre las observaciones realizadas y las propiedades de los plásticos

La tabla 5, elaborada por los estudiantes tras una puesta en común en el aula, relaciona los cambios observados con las propiedades de los plásticos.

Tabla 5. Relación entre las observaciones realizadas y las propiedades del plástico

Observación realizada	Relación con las propiedades
Se arruga	Se produce una pérdida de elasticidad. Es decir, el material se deforma permanentemente porque alcanza el estado de plasticidad.
Se dobla	Se produce una pérdida de elasticidad.
Aparecen manchas o suciedad	Relacionado con la humedad adquirida por el material.
Cambios de color	Probablemente causado por reacciones químicas de oxidación.
Aparición de olor	Probablemente producido por degradación de componentes del material.
Se separa en partes o fibras	Se debe a la pérdida de cohesión.
Se desprende un trozo o se deshace	Se explica por la fragilidad del material. Es decir, se supera el valor máximo de deformación permanente. Se produce una pérdida de cohesión entre los componentes.

El viento causa una pérdida de elasticidad del material y es responsable de la aparición de arrugas y dobleces.

La higroscopicidad o capacidad de un material para absorber y exhalar la humedad está relacionada con el hecho de mojarse por la lluvia, y posteriormente, con la aparición de manchas y suciedad, que solo se apreciaron de forma puntual en algunos plásticos. La impermeabilidad del plástico es responsable de que no se haya producido por la lluvia un hinchamiento del material.

El sol es el responsable del cambio de color en plásticos teñidos o en información impresa en los mismos, probablemente debido a oxidaciones.

La no detección de olor es indicativa de que los agentes atmosféricos no han sido capaces de producir la degradación de los componentes del plástico.

El hecho de haberse observado el rasgado solo en algunos plásticos muestra que la cohesión de las partículas que lo constituyen debe ser fuerte. Asimismo, se observa que los plásticos no son materiales frágiles puesto que no se desprenden trozos de plásticos ni se deshacen con facilidad.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Conclusiones de la indagación

A partir de los resultados obtenidos, los estudiantes valoraron sus ideas iniciales y confirmaron o rechazaron sus hipótesis, lo que les permitió establecer estas conclusiones.

- (a) La exposición de plásticos a condiciones ambientales durante 100 días es insuficiente para que se produzcan cambios químicos y se observe una degradación importante en el plástico, puesto que las muestras estudiadas han permanecido prácticamente sin cambios apreciables en dicho tiempo. Por tanto, se requiere mucho más tiempo para observar cambios químicos.
- (b) El espesor del plástico no ha sido una característica importante que facilite su degradación puesto que algunas bolsas de plástico de menor espesor no se rasgaron y otras de mayor espesor sí lo hicieron (hipótesis 1 rechazada).
- (c) La degradación por radiación del sol produce pérdidas de color en plásticos coloreados y también en información impresa contenida en ellos (hipótesis 2 confirmada).
- (d) El sol produce pérdidas de color en plásticos blancos, pero no en transparentes (hipótesis 3 rechazada).
- (e) La principal propiedad de los plásticos responsable de estos primeros cambios observados es la elasticidad. Por otro lado, la elevada resistencia y cohesión de los plásticos o su escasa capacidad higroscópica favorecen que no se produzca una mayor degradación a corto plazo.
- (f) La lenta descomposición de materiales plásticos, supone una larga vida en el medio, por lo que podrían producir contaminación, principalmente de aguas, así como un riesgo para algunos animales si llegaran a ingerirlos.

5. Consideraciones finales

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la indagación es un enfoque metodológico útil para abordar problemas socio-científicos relacionados con la química y con una repercusión importante en el medio ambiente, como es el caso de la degradación de los plásticos planteada.

Durante la realización de la indagación se ha observado una alta implicación del alumnado en comparación con otro tipo de actividades diarias realizadas en el aula. Su larga duración ha permitido que el docente pudiera realizar un seguimiento personalizado a cada estudiante que, con frecuencia, realizaba algún comentario en el aula de los cambios que se iban produciendo en sus muestras. Este interés y motivación por el aprendizaje a través de la indagación confirma nuestra hipótesis de partida, y ha sido también reportado por autores como Gao (2015), que concluyeron que un estilo de aprendizaje basado en la indagación hace que los estudiantes se muestren más involucrados y sean más responsables durante el procedimiento. Además, se ha logrado integrar el tratamiento de un problema de la vida diaria como la degradación de materiales plásticos en el medio natural, con la práctica científica de indagación.

Debido a que el tiempo de degradación de los plásticos es muy largo, y su abandono puede traer consecuencias para el medio ambiente, se requiere de una concienciación social que

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

favorezca su reciclaje y evite que los ciudadanos los depositen en cualquier lugar. Esta concienciación debe empezar en el ámbito educativo, y en este sentido, la experiencia mostrada debe considerarse como el punto de partida para crear una primera sensibilización ambiental ante este problema, que debe irse reforzando con otras actividades en el aula.

Como continuidad a este estudio se pretende realizar una indagación para estudiar la degradación de diferentes materiales, lo que permitirá realizar un estudio comparativo entre ellos. Asimismo, se está trabajando en el diseño de una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre los plásticos y su contaminación para estudiantes de secundaria donde se integrará la indagación presentada.

6. Referencias

- Arandes, J.M., Bilbao, J. & López, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 28-45.
- Barroso, S., Gil, J.R. & Camacho, A.M. (2008). *Introducción al conocimiento de los materiales y a sus aplicaciones*. Madrid: UNED.
- Bybee, R., Taylor, J., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J., Westbrook, A. & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness*. A report prepared for the Office of Science Education National Institutes of Health.
- Chernicoff, L. & Echeverría, E. (2012). ¿Por qué enseñar ciencia a través de la indagación? Un caso en la Universidad Autónoma de México (UACM). *Educación Química*, 23(4), 432-450.
- European Commission. (2015). *Science education for responsible citizenship*. Luxemburg: Publications Office of the European Union.
- Franco-Mariscal A. J. (2015). Competencias científicas en la enseñanza y el aprendizaje por investigación. Un estudio de caso sobre corrosión de metales en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 231-252.
- Gao, R. (2015). Incorporating students' self-designed, research-based analytical chemistry projects into the instrumentation curriculum. *Journal Chemistry Education*, 92, 444-449
- García, S. (2009). Referencias históricas y evolución de los plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 10(1), 71-80.
- Jaime, M., Labrada, V. & Hernández, P. (2018). *Bioacumulación y transferencia de metales y contaminantes emergente a través de las cadenas tróficas marinas*. México: Samsara.
- MEC, Ministerio de Educación y Ciencia (2015). *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. BOE núm. 3, de 3 de enero de 2015.
- NRC, National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academy Press.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

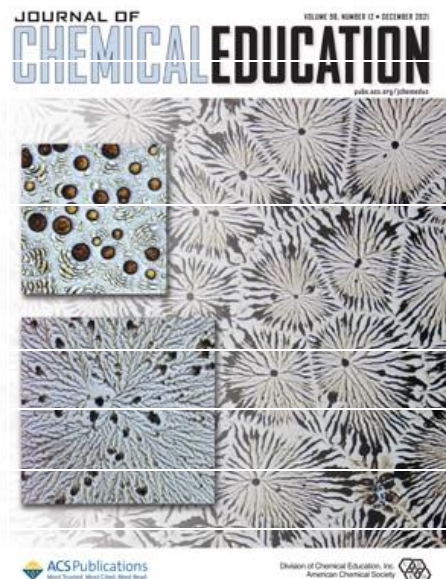
- NRC, National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. Whashington, D.C: National Academy Press.
- Posada, B. (2012). La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 30(94), 67-86.
- Reyes, F. & Padilla, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación Química*, 23(4), 415-421.
- Rönnebeck, S., Bernholt, S. & Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground – A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, 52(2), 161–197.
- Smith, M., Love, D., Rochman, C. & Neff, R. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3), 375-386.
- Torres, J.M. (2019). Estudio de los flujos de dispersión de los residuos plásticos en el Golfo de Cádiz debido a las corrientes superficiales marinas: una propuesta didáctica para iniciar a los alumnos de 1°ESO en la indagación científica escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(3), 3501.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Artículo 4. Should We Ban Single-Use Plastics? A Role-Playing Game to Argue and Make Decisions in a Grade-8 School Chemistry Class

Datos de la publicación



Tipo de publicación: Artículo

Título: Should We Ban Single-Use Plastics? A Role-Playing Game to Argue and Make Decisions in a Grade-8 School Chemistry Class

Autores: María del Mar López Fernández, Francisco González García y Antonio Joaquín Franco-Mariscal

Año: 2021

Revista: Journal of Chemical Education

Número y volumen: 98(12)

Páginas: 3947-3956

DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00580>

Enlace:

https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jchemed.1c00580?casa_token=9ezrKYDljE4AAAAA%3AFu3K_rT18J_iCHuT_hHkdFKpEgBI8xXREFE7j9sKx1F4z2PJZEAZW4Bnq9ulM8w15T_DwNmVejQISMij

Idioma del artículo: Inglés

Indicadores de calidad:

- Base de datos: **WOS (JCR)**.
Journal Impact Factor (JIF, 2021).
Categoría: Education & Educational Research.
Factor de impacto: Journal Citation Indicator (JCI, 2021): 1.217.
Cuartil: Q4 (231/267) (2021).
- Base de datos: **SJR (Scopus)**.
Categoría: Educación.
Cuartil: Q3 (2021).
Factor de impacto: 0.338

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Objetivos y preguntas de investigación que responde el artículo:

Objetivo general 2. Diseñar, implementar y evaluar una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje centrada en la contaminación ambiental por plásticos que permita desarrollar habilidades de pensamiento crítico a través de distintas estrategias en estudiantes de 2º de E.S.O.

Objetivo específico:

(2.3). Analizar las habilidades de pensamiento crítico (argumentación y toma de decisiones) y disposiciones (percepciones y emociones) que los estudiantes de secundaria desarrollan en una actividad de juego de rol sobre la prohibición de plásticos de un solo uso, incluida en la secuencia de enseñanza-aprendizaje.

Preguntas de investigación

- j) ¿Qué decisiones toman los estudiantes con respecto a la prohibición de los plásticos de un solo uso antes y después de participar en el juego de rol? ¿Cómo argumentan posibles cambios en su decisión? (Objetivo específico 2.3).
- k) ¿Cuáles son las percepciones de los estudiantes sobre el juego de rol y de su comprensión sobre los plásticos antes y después de la actividad? (Objetivo específico 2.3).
- l) ¿Qué tipo de emociones aparecen en los estudiantes durante el juego de rol? (Objetivo específico 2.3).

Abstract



The social dimension of chemistry is relevant and present in numerous socio-scientific issues, for example, the use of plastics. These issues can be covered at school by implementing strategies such as role-playing, which allow different perspectives to be understood, thereby helping to promote changes in attitude. This paper presents a pilot-study about the design and results obtained in the role-playing game “Should we ban single-use plastics?”, which covers the problem of plastics in a secondary school chemistry class by way of argumentation and decision making. Role-playing allows students to represent the viewpoints of different important actors in this area both in favor of a ban on their use (fisherman, environmental scientist, teenager, biodegradable material manufacturer) and against (manufacturer of disposable surgical products, teenager, worker in a plastic cutlery factory, director of an oil company). This role-playing was implemented virtually for a class of grade-8 school students (secondary schoolers in Spain). The main findings include the promotion of learning about the chemical aspects of plastics and the change in attitude of some students regarding this issue after preparing and using arguments and counterarguments based on scientific evidence in a debate. Role-playing is well received by students and helps them to experience positive emotions. Students were found to be very critical of the issue addressed, and the COVID-19 pandemic appeared to affect their decisions.

Keywords: First-Year Undergraduate/General, High School/Introductory Chemistry, Physical Chemistry, Collaborative/Cooperative Learning, Humor/Puzzles/Games, Applications of Chemistry, Student-Centered Learning

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

1. Background

The relationship between chemistry and society is clear. One sign of this is the improved lifestyle resulting from the knowledge provided by chemistry to society in different fields, such as healthcare, food, or materials. (1,2) This social dimension of chemistry can start to be covered from school age by presenting students with various socio-scientific issues. If the issue is approached from all perspectives, students will allow well-informed decisions to be made and actions to be promoted to generate a change of attitude in the population toward chemistry. This dimension is essential to further linking chemistry education to everyday life, technology, society, history, and the philosophy of science. (3) According to Van Berkel et al., (4) “student activities in mainstream school chemistry[...] do not put emphasis in the curriculum on personal, socio-scientific and ethical questions that are relevant to students’ lives and society”. Consequently, new educational approaches are required in order to address this issue. Role-playing is an interesting activity to approach these problems in the school, (5) as it can help mobilize important resources to address the veracity of information in the face of the permanent state of scientific misinformation in which we live.

The study of chemistry-related socio-scientific issues helps to improve scientific literacy and create citizens with an understanding of chemistry that can be used to improve our society. (6,7) Thus, students also learn to question, discuss aspects of chemistry, or make decisions, all of which may affect their lives and society in general. This need to incorporate socio-scientific issues into the classroom is included in national educational standards for countries such as the USA, Germany, the UK, or Spain. (8) In the case of the Spanish curriculum, (9) objectives such as assessing scientific research and its impact on industry and the development of society, or interpreting information on scientific issues of an informative nature in publications and the media, are included. These goals show the concern of public officials in approaching novel educational tools to tackle socio-scientific issues. There are numerous socio-scientific issues in which chemistry plays an important role. These include fuels such as biodiesel, (10) mixtures of alcoholic beverages, (11) or pollution resulting from the degradation of plastics in ecosystems. (5) It is regarded as critical that students are enabled to construct and analyze arguments and make decisions, related to the social applications and implications of chemistry. If students engage in argumentation about socio-scientific issues included, among their goals, is the development of critical thinking. Such critical thinking is related to educating citizens with an empowerment for the capacity to reflect on and influence social issues of relevance for their lives. (12)

With regard to the problem of plastics, these materials present a complex situation in society. Plastics have helped to improve our quality of life, health, sanitation, transport, and communications, and they are found in essentially all objects around us, but, their high demand, production and presence in ecosystems is causing major environmental problems. (1,13) For instance, their high durability results in their build-up in the environment as waste, (5) especially in the oceans. This can be seen, for example, in the so-called Great Pacific Garbage Patch, which is a large accumulation of plastics in the middle of the Pacific Ocean. (14) Second, their manufacture requires the use of fossil

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

fuels and other additives that are often toxic to plants and animals. To ensure a more sustainable future, it is important that current generations live in a manner that does not endanger the opportunities of future generations. (15) Some examples include the various alternatives for energy production and use, innovative products stemming from chemistry which may aid in preserving natural resources, or the interaction of chemical industry with local and regional economy and society. (16) Plastics have become an ideal context for involving secondary school students in reasoning and argumentation about chemistry, both of which are basic skills to ensure scientific literacy (16) and the development of critical thinking. (17)

Various authors have reported that role-playing is an appropriate tool for approaching socio-scientific issues in the chemistry classroom. (16,18,19) Role-playing is a simulation strategy in which students have to play a specific role assigned to them. This practice promotes dialogue and verbal communication in the classroom, provokes changes of opinion, and helps us to clarify our thoughts about a particular topic; (20) develops the ability to argue, thus helping students to understand chemistry as a social practice; (21) promotes the performance of various roles and the determination of criteria on which they are based; (20) and encourages students to learn aspects related to the issues concerned and may help them to view chemistry as being something close to them, (22) among others. Its advantages also include the ability to show students the complexity of the real world and the problems that appear in it, which cannot be solved simply by memorizing information. (23)

Role-playing is also an opportunity to put decision making regarding chemistry-related issues into practice. Banks et al. (24) indicate that it is recommended to put practices related to the evaluation of opinions and the making of informed decisions based on an understanding of chemistry, in combination with other factors (economic, social, environmental, etc.), into practice in the chemistry classroom at all educational levels. Moreover, Cook (5) states that role-playing helps students to understand and value different points of view concerning complex arguments. (25,26) Despite its importance, the use of chemistry to reach judgements and decisions is rarely discussed in conventional classrooms. (5) Some topics covered in the chemistry classroom using role-playing include fossil fuels (11) or the use of plastics. (16)

In addition, role-playing games include different gamification elements that make chemistry learning a more motivating and participatory process. A game is a “system in which players engage in artificial conflict, defined by rules, that results in a quantifiable outcome”. (27) According to Franco-Mariscal, Oliva-Martínez, and Almoraima Gil, (28) any game has a challenging component, by raising a personal challenge or a competitive drive, and also results in student learning, at either a cognitive or affective level, to enable the development of positive attitudes toward chemistry and society. To sum, the most important characteristics of role-playing are shown in Table 1.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Table 1. Characteristics of Role-Playing

Topic	Role-playing...
Chemistry education	encourages students to learn chemistry
	helps to understand chemistry as a social practice
	helps to view chemistry as being something close to students
	shows students the complexity of the real world
	approaches socio-scientific issues in chemistry education
	puts decision making regarding chemistry-related issues into practice
Argumentation skills	promotes verbal communication
	promotes dialogue
	provokes changes of opinion
	clarifies thoughts
	develops the ability to argue
	helps students to understand and value different points of view concerning complex arguments
Gamification	promotes the performance of roles
	encourages players to get involved
	raises a personal challenge or a competitive drive
	is defined by rules
	makes chemistry learning a more motivating and participatory process
	results in student learning at a cognitive and affective level

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

It is worth noting that we can find in the literature other educational activities other than role-playing that allow students to discuss and make decisions about chemistry in society (10) such as jigsaws, (11) learning stations, (11) short interactive lectures, (2) etc.

In light of the above, this paper presents a pilot study on the results of role-playing entitled “Should we ban single-use plastics?” in Spanish grade-8 students based on European regulations banning certain types of plastics. (29) The aim of (EU) Directive 2019/904 is to prevent and reduce the impact on the environment of certain plastic products and to promote a transition to a circular economy by introducing a mix of measures, including an EU-wide ban on single-use plastic products whenever alternatives are available. Such a ban, which appears to be novel in Europe, was implemented some years ago in various states in the USA. (30)

Although the topic proposed has already appeared in the literature, (5) this study provides several new aspects. The first of these is an analysis of decision making performed by grade-8 school students when faced with the problem before and after covering this topic in the classroom during role-playing. The second contribution is a study in the behavior of students’ perception about the knowledge acquired concerning plastics at both stages. Finally, the emotions experienced by students during this activity are analyzed as this is essential if we wish to generate learning benefits. (31,32) Emotions are “brief, psychophysiological changes that result from a response to a meaningful situation in one’s environment” (33) that usually arise in response to a specific person or event. (32) Emotions are fast, automatic, and occur unconsciously yet still have a marked influence on the way in which we think and interpret events. (34) In short, the arguments taking place during the role-playing as well as the gamification elements of the activity may also help to improve the emotions experienced and contribute positively to chemistry learning.

2. Aim and Research Questions

The aim of this study is to disclose the design and results of the role-playing “Should we ban single-use plastics?” implemented in Spanish grade-8 school students (13–14 y). This study proposes the following research questions:

- Research question 1 (RQ1): What decision do grade-8 school students make regarding the banning of single-use plastics before and after participating in the role-playing? How do they argue possible changes in their decision?
- Research question 2 (RQ2): What are the perceptions of students regarding role-playing and their understanding concerning plastics before and after the activity?
- Research question 3 (RQ3): What type of emotions appear in students during role-playing?

3. Scenario

The chemistry-related socio-scientific issue proposed concerns the legislation approved by the European Union banning single-use plastics in 2021 (EU Directive 2019/904) (29) as a means of decreasing ocean waste. This Directive, on the reduction of the impact of certain plastics products on the environment, promotes circular approaches that give

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

priority to sustainable and nontoxic reusable products and reuse systems rather than to single-use products, even if they are biodegradable plastics, aiming first and foremost to reduce the quantity of waste generated. The plastic products to be banned under the directive include: cutlery (forks, knives, spoons, chopsticks), plates, straws, cotton bud sticks, beverage stirrers, sticks to be attached to and to support balloons, food containers made of expanded polystyrene and, products made from oxo-degradable materials. (29) The authors of this paper used this normative proposition to design the activity trying to give important insights into the interface between state regulation and widespread chemistry dissemination, particularly to grade-8 school students.

The scenario proposed to students involved a hypothetical situation in which the European Union contacted our secondary school to find out the opinion of teenagers about this legislation. To that end, students were asked to hold a debate in the classroom entitled “Should we ban single-use plastics?”, which would then be published on their YouTube channel.

Students assumed roles representing the different points of view of different sectors of society and debated aspects such as the chemical composition of plastics, their physical and chemical properties, their degradation, environmental aspects, or the advantages and disadvantages of this new legislation. Specifically, various students were asked to support this ban and others to oppose it. A third group acted as presenters and moderators during the debate and were also responsible for deciding the winner thereof, based on their chemical argumentation. The roles during this role-playing were randomly assigned by the teacher. The roles are described in Figures 1 and 2 and correspond to an adaptation of a role-playing concerning the same problem designed previously for preservice science teachers to a secondary school setting. (35) Some of the modifications adopted included a reduction in the number of roles, the adaptation thereof to the age of these students and a balance in the number of men and women taking part in the role-playing to ensure gender diversity on the role (e.g., fisherman/fisherwoman).

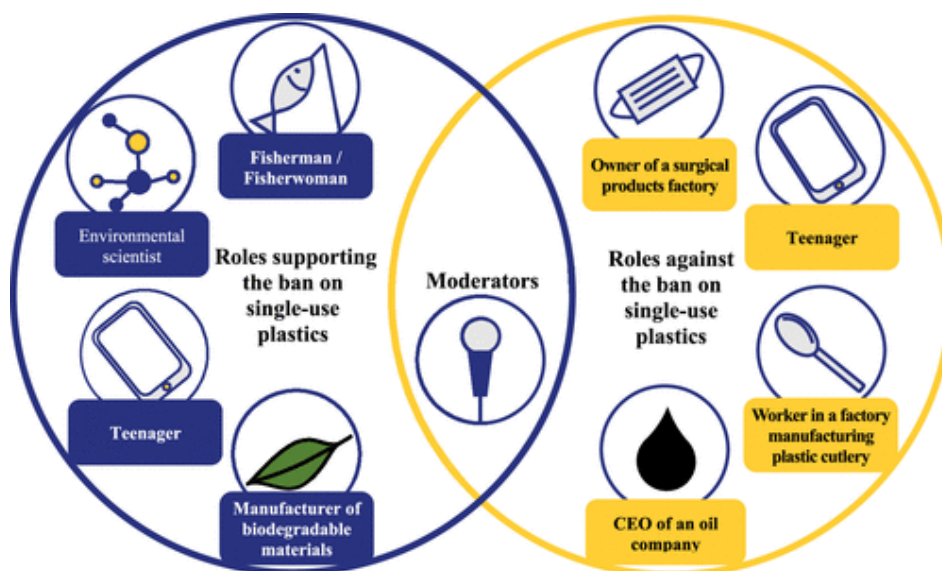


Figure 1. Roles supporting and opposing the ban used during the activity [own data].

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Roles supporting the ban on single-use plastics		Roles against the ban on single-use plastics	
Manufacturer of biodegradable materials	The materials you manufacture are an alternative to the use of plastics. For instance, bags, cups and other packaging, all made from materials that can be readily destroyed in nature. You employ five technicians and a technical engineer.	Numerous single-use plastic products are manufactured using the crude oil extracted by your company. The new legislation may lead to closure of the company.	CEO of an oil company
Teenager	You are a teenager aged between 12 and 16 years. The consequences of plastic contamination are of interest to you and you believe this is a problem of vital importance. Yesterday you heard a news item on the TV about the new European legislation concerning the ban on single-use plastics in 2021 and you consider this to be a good idea.	You work in a factory manufacturing plastic plates and cutlery. More than 1000 items are manufactured every day. The new legislation may mean that you and all your workmates lose their jobs due to closure of the factory.	Worker in a factory manufacturing plastic cutlery
Fisherman/ Fisherwoman	You go out fishing every morning. Every day, your nets collect more plastics and fewer fish. You think that the new European legislation banning single-use plastics in 2021 may be a solution to your problem.	You are the owner of a factory manufacturing disposable plastic sanitary products, such as gloves or masks, to prevent disease transmission with 100% effectiveness. The new legislation will lead to these products being banned.	Owner of a surgical products factory
Environmental scientist	You are researching the levels of plastic contamination in ecosystems. Your findings show that contamination of the oceans has increased markedly over the past 10 years, that increasing numbers of species have microplastics in their stomachs, and that this situation is having irreversible effects on the environment.	Yesterday you heard about the new legislation banning single-use plastics in 2021 on the news. You have thought about this topic and realized that, because of this legislation, you will no longer be able to take doughnuts or crisps to school as a snack as many types of packaging will have to be modified and this will require an effort from everybody.	Teenager

Figure 2. Description of the different roles.

3.1. Tasks Proposed

Role-Playing Involved Four Tasks

Task 1: Presentation of the Problem and Initial Decision-Making

The teacher presents the problem and asks each student to make their own decision about it, responding in a reasoned manner to the question “Are you in favor of, or against, banning single-use plastics?” Students were not allowed access to any type of information during this task; therefore, their responses were made based on their prior understanding of this problem.

Task 2: Preparation of Role-Playing

The roles (Figure 2) were assigned in the classroom to groups of three students, one of whom defended their position in the game, with the other two acting as advisers. Each group was given 1 week to find reliable information on the Internet regarding the role assigned and prepare chemical evidence-based arguments to defend their role and counterarguments to criticize the other roles. These students had previously been trained in how to search for reliable information on the Internet and were provided with some

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

criteria (author of source, author's institution, references provided by source, presence of pop-up messages on the web, etc.). (36) Students compiled the information in a file (Figure 3).

Role TEENAGER against banning single-use plastics	
<i>First and Last Name(s):</i>	
<i>Course:</i>	<i>Date:</i>
<i>Description of role:</i> Yesterday you heard about the new legislation banning single-use plastics in 2021 on the news. You have thought about this topic and realized that, because of this legislation, you will no longer be able to take doughnuts or your favorite crisps to school as a snack as many types of packaging will have to be modified and this will require an effort from everybody.	
<i>Provide arguments to defend the position of your character. To do that, use scientific articles, newspapers, web pages with scientific rigour, videos, images, etc.</i>	
-	
-	
-	
<i>Write down arguments by other characters that you think you can refute</i>	
-	
-	
-	

Figure 3. Examples of a file used to compile arguments to defend the role and prepare possible counterarguments.

Task 3: Staging of Role-Playing

The debate was staged in three parts:

- Presentation of the problem by the presenters and initial intervention of each role (10 min). Each character presented their arguments in 1 min, and the advisers took note of the strengths and weaknesses of the arguments for the other roles.
- Meeting of each role with their advisers to exchange notes and provide counterarguments (5 min).
- Debate. Reply and counter-reply (20 min).

Task 4: Making a Final Decision about the Problem

Each student was again asked to make a final and reasoned decision about the problem individually, changing their initial posture if necessary. Once this task had been completed, the presenters finished the game by choosing the winning character.

3.2. Importance of Arguing about Chemistry

Role-playing is centered on argumentation and decision making as two important skills for the development of critical thinking by students. (17)

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

The aim of this activity is to ensure that students are able to draft evidence-based arguments related to plastics based on their chemical knowledge that also provide a justification and a conclusion, (37) as can be seen from the following argument used by a student:

Single-use plastics are only used for a very short period of time but take millions of years to decompose. There are around 8 million tonnes of plastic in the oceans, and 50% of this comprises single-use plastics. This process is very slow, and they don't usually disappear completely as they are highly resistant. These plastics become smaller and smaller and cause many plastic-related deaths in animals. If [there] are no plastics, there will be more animals.

Fisherwoman

As can be seen, this argument includes evidence regarding the quantity of plastic present in the oceans or some of the features of these plastics, such as their resistance. As justification, reference is made to the long time period required for a plastic to degrade. A final conclusion is also provided.

A further aim is that students are able to prepare counterarguments to other data. (38) One example of this is the following dialogue, which occurred during the debate between the owner of the surgical products factory and the environmental scientist:

“If we ban single-use plastics, in the case of hospitals faced with the current COVID situation worldwide, it would be almost impossible to carry out many operations to improve patients' health as plastic materials need to be used. Although this is fairly serious in a hospital, there are other situations that could become even worse. For example, it would be madness to use our hands to select fruit in a fruit shop when plastic gloves can be used”.

(Argument by the owner of a surgical products factory)

“It's true that in some places, such as hospitals, plastic materials need to be used. For example, if syringes were made out of glass they would need to be sterilised, and they are more hygienic when made from single-use plastics. However, plastics are not needed in shops as nobody can guarantee that the plastic or glove that you are going to use to store the food hasn't been touched by someone else. The only thing you need to do is wash the fruit well when you get home. Therefore, plastics don't need to be used in shops”.

(Counterargument of the environmental scientist)

As can be seen, the first argument was easy to refute as only COVID-based evidence was provided, with no justification or conclusion. In contrast, the counterargument provides a justification by comparing the advantages of plastic syringes with their glass counterparts and another regarding the use of gloves when shopping. It also includes a solution to the problem addressed in the fruit shop as a conclusion.

A comparison of the different arguments and counterarguments will allow students to reach their own decision about this problem. Arguing about issues that relate to chemistry

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

and society allows students to question the validity of arguments, reject ideas not based on evidence, and detect argumentative fallacies. (17)

To summarize, the main arguments supporting the ban were based on the environment and the protection of ecosystems or animals. In the meantime, the arguments against the ban focused on COVID-19 or the economy. The “word cloud” (Figure 4) illustrates the most frequently used terms during role-playing, such as “plastics”, “people”, “economy”, “materials”, or “company”, showing the relationship between chemistry and society.



Figure 4. “Word cloud” showing the keywords used by the students during role-playing.

4. School Settings

This activity was carried out as a pilot study with 26 students (59% girls and 41% boys) in grade 8 (13–14 y) at a secondary school in Málaga (Spain) studying the obligatory chemistry subject, which begins in this school year in the Spanish curriculum. The activity was performed online during the confinement period of the COVID-19 pandemic in April 2020; therefore, the use of face masks, gloves, and other single-use plastic materials was very widespread. This activity can be adapted to an in-person and/or online setting.

5. Methods

5.1. Data Collection

The instruments used to collect data for each research question (indicated in brackets) were the following:

- Question regarding reaching a decision about the problem.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

- Questionnaire concerning perceptions of role-playing and chemical knowledge acquired.
- Questionnaire about emotions experienced during the activity.

The question regarding reaching a decision about the problem was administered before and after role-playing (tasks 1 and 4) (RQ1).

The questionnaire concerning perceptions of role-playing and chemical knowledge acquired was administered at the end of the activity. With regard to role-playing, students were asked to score the activity from 0 to 10 points and to indicate positive and negative aspects of the activity (RQ2). With regard to their perception of the chemical understanding acquired, students were asked to give a score between 0 and 10 before and after role-playing and also to answer the open-ended question “I have learned...” (RQ2).

In the questionnaire about emotions they were asked to choose one of the seven points on a differential semantic scale (very, fairly, somewhat, indifferent, somewhat, fairly, very) the extremes of which were 10 opposing emotions (afraid–calm, stressed–relaxed, worried–unconcerned, insecure–confident, displeased–happy, suspicious–confident, unhappy–happy, bored–enthusiastic, unsatisfied–satisfied, uninterested–interested) (39) (RQ3).

5.2. Data Analysis

The decisions adopted regarding the problem before and after the role-playing (RQ1) were grouped into three categories:

- Decision in favor of banning single-use plastics: Included responses in which this viewpoint was taken in a clearly reasoned and justified manner.
- Decision against banning single-use plastics: Contained responses expressing arguments supporting this position.
- Undecided: For those responses in which a clear decision was not evident or both positions appeared.

These categories were represented in a Sankey diagram and the Chi-squared statistical test was applied.

For the questionnaire regarding perceptions about role-playing (RQ2), the positive and negative evaluations were analyzed separately. In both cases the responses were grouped into different categories and the percentages calculated.

The learning perceived by students (open-ended question “I have learned...”)(RQ2) was analyzed by categorizing the responses provided. With regard to the perception of understanding before and after, the mean scores and variation between these two time points were analyzed.

The data obtained concerning the emotions experienced by the students (RQ3) were analyzed by calculating the percentages for each point on the scale for each emotion.

6. Findings

6.1. Findings about Decision Making (RQ1)

Table 2 shows the decision making about banning single-use plastics before and after role-playing.

Table 2. Decision Making at the Two Time Points

Decision		Supporting the ban (%)	Against the ban (%)	Undecided (%)
Before	role-playing	94.4	5.6	0.0
After role-playing		72.2	22.2	5.6

Initially, the vast majority of students (94.4%) were in favor of banning single-use plastics. However, this decision dropped to 72.2% after participation in the role-playing, with 22.2% being against such a ban and some students remaining undecided. Despite these changes in opinion, the Chi-squared test showed that there were no statistically significant differences ($\chi^2 = 2.119$; $p > 0.05$) between the two time points.

The Sankey diagram in Figure 5 shows the maintenance and changes in opinion of the students at these two points. It can be deduced from the diagram that the majority of students (77.8%) maintained their original opinion after role-playing, with only 22.2% changing their decision. These changes in opinion were from in favor of a ban to against or undecided, but never from against to in favor. After the role-playing, two types of students are against the ban: those initially already in this position (5.6%) and those who have shown a change of opinion after the debate (16.6%).

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

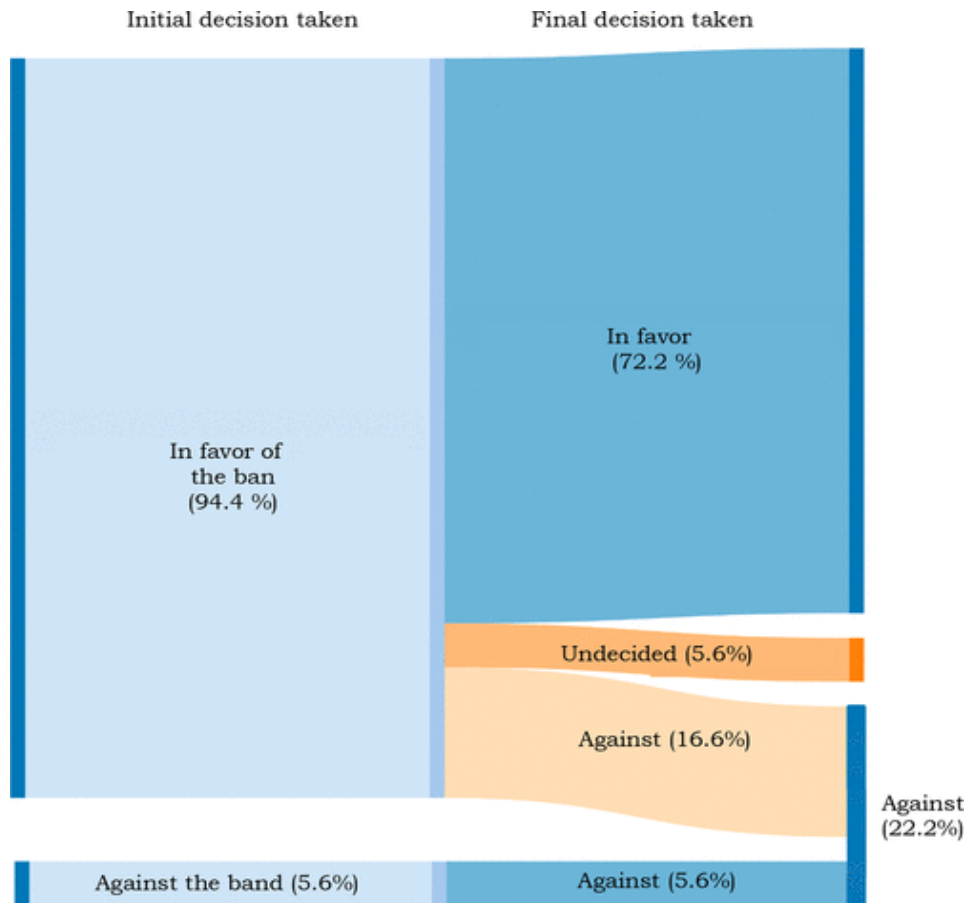


Figure 5. Sankey diagram showing maintenance or change of decision before and after role-playing.

The reasons given by students when they were asked to argue their change of decision from in favor to against are given below:

“I’ve changed my opinion because single-use plastics currently protect you better, and as a result, you probably don’t get infected”. (Advisor)

“The speech given by the disposable surgical products factory character made me change my opinion as it’s true that hospitals, veterinary clinics, etc., need them”. (Advisor)

“I saw ideas more clearly in my companions’ debate, and I learned things I didn’t know before”. (Advisor)

As can be seen, two of the three arguments are related to COVID-19 and the third to the power of conviction of the ideas debated.

The only student to change their decision from in favor to undecided stated:

“What made me change my decision was having a position in the debate contrary to the opinion I held initially. That’s why I’m now undecided”.

(Owner of the disposable surgical products factory)

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

As can be seen, the need to find information to defend a position with which the person was not initially in agreement may raise reasonable doubts about the final decision. As indicated in other publications¹¹ on problem-based activities relating to chemistry and society, most of the students showed a pro-environmental stance, able to justify these decisions with issues such as the environment or ecological wholesomeness. However, we also found undecided students or could find advantages and disadvantages to both positions without opting for either of them. Initially, a strong position of students in favor of a ban on single-use plastics would be expected, considering that students' opinions are influenced by television and social media, in addition to recent publicity movements about reducing plastic consumption and eliminating single-use plastics. Undoubtedly, carrying out this activity during the pandemic provoked more positions against the ban than we expected. Nevertheless, the quality of the arguments stands out, evidencing great previous information gathering.

6.2. Findings Regarding the Perceptions of Students about Role-Playing and Their Understanding Concerning Plastics (RQ2)

Students gave the activity 8.4 points out of 10, which is considered to be very positive. Table 3 presents students' perceptions of the activity.

Table 3. Perceptions of the Best and Worst Evaluated Aspects of the Activity

Category	Percentage (%)
Positive Evaluations	
Staging of role-playing	54.5
Chemical understanding of plastics	22.7
Group work	18.2
No response	4.5
Negative Evaluations	
No unfavorable aspects	47.4
Advisers unable to debate	15.8
Lack of time for advisers	15.8
Group work	15.8
Others	5.3

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

The majority of students (54.5%) considered the staging of the role-playing to be the best aspect of the activity, with this being taken to mean the possibility to debate about plastics. Fewer students (22.7%) considered learning about the chemistry of plastics alone, or listening to arguments from other companions, to be the best aspect, whereas 47.4% stated that there was no unfavorable aspect of note. To a much lesser extent, students highlighted the inability to participate in the staging due to being an advisor (15.8%) and a lack of time for advisors (15.8%) or the group work (15.8%). This latter aspect was also given as a positive aspect, although to a slightly higher degree (18.2%), thus appearing to highlight the importance of the correct selection of group members by the teacher and a good distribution of the tasks as, in some cases, this may cause some disagreement and other significant advantages. It should be noted that the only chemistry-related aspect was among the positive evaluations given.

The perception of the understanding concerning plastics increased by 2.4 points, from 5.7 (before role-playing) to 8.1 points (afterward) out of 10.

Table 4 lists the categorization of students' perception of their learning, showing that they perceived to have learned about chemistry (70.4%) and about scientific skills (29.6%), especially how to debate and argue about chemistry based on evidence.

Table 4. Categorization of the Learning Perceived by Students

Category	Example	Percentage (%)
About Chemistry		
Chemistry and society	“Single-use plastics are needed, especially against COVID.”	37.0
Chemistry and the environment	“I have learned a lot about the consequences of plastics for the planet, such as contamination or the death of animals.”	25.9
Properties of plastics	“I have learned many characteristics of single-use plastics, such as that they do not degrade like paper or cardboard and remain in the oceans for longer.”	7.4
About Scientific Skills		
Debating and arguing about chemistry	“I have learned to debate much better and to develop counterarguments in only a short time with the help of the rest, and sometimes without it.”	29.6

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

With regard to chemistry, 37.0% of students noted aspects concerning the relationship between chemistry and society and the importance of single-use plastics as regards protecting us in the current health situation, or their effects on the economy. Furthermore, 25.9% alluded to the effects of chemistry on the environment, whereas 7.4% mentioned some properties or characteristics learned about plastics.

Finally, the students' perceptions suggest that role-playing promotes learning about aspects of chemistry such as the degradation of plastics and the importance of chemistry for society or contamination and the environment, indicating an enhanced understanding of chemistry.

6.3. Findings about Emotions (RQ3)

The emotions experienced during role-playing were valued very highly as all students tended to indicate positive emotions from each pair provided, with the most favorable option (very) of all these pairs being given percentages of between 37% and 53% (blue color in Figure 6). The emotions relaxed, calm, confident, glad, or satisfied obtained the highest percentages (close to 50%). These positive emotions experienced indicate that this activity enhanced the motivation and interest of students toward the problem of plastics.

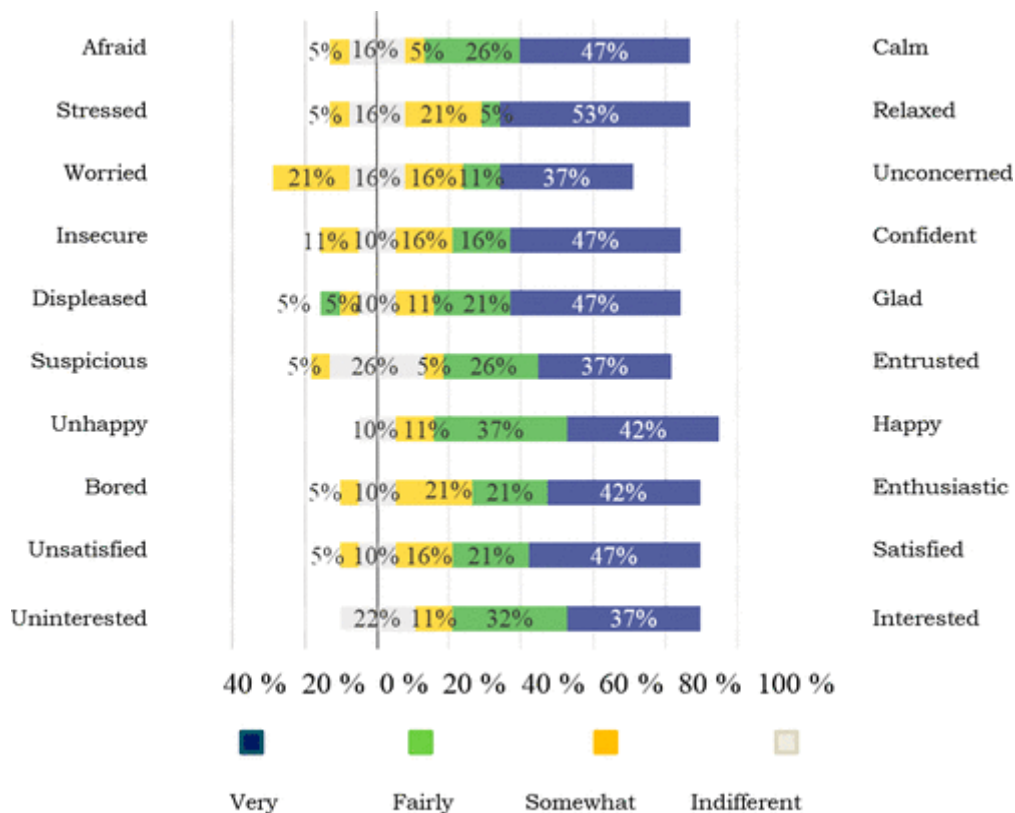


Figure 6. Emotions experienced by students during role-playing.

Interestingly, the highest-rated positive emotion was relaxed (53%), and the negative emotion was worried (21%). It is probably indicative of the attitude of the two types of

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

citizens we can find in society toward plastics: people with little concern (relaxed) or a lot of concern (worried).

The gamification elements associated with role-playing may be responsible for some of the emotions indicated: enthusiastic and happy due to the motivation of the game, suspicious due to its competitive drive, or worried about arguing and counter-arguing in public adequately as the main rule of the game.

7. Study Limitations

The sample size used in this study can be considered to be a limitation as regards the reproducibility of the results in a larger population. As such, our aim in future studies is to implement this role-playing in other groups of students. Despite this, the sample is considered to be appropriate for a pilot study to investigate the potential of this type of activity in the classroom as it requires all students to participate actively in the activity, which would not be viable with larger groups.

A second limitation, which we were able to partially overcome, concerns the online format which had to be used for this activity, due to reasons beyond our control (COVID-19), during a period of home confinement when schools were closed and classes were taught remotely. The virtual teaching format caused some problems and imbalances in the activities, such as a lack of Internet connection for some students or the difficulties encountered when moderating the speakers and debates remotely, which would have been markedly enriched if carried out in person.

One final aspect to be revised concerns the role of advisors, who demanded a greater intervention during staging.

8. Conclusions and Implications

This paper presents the results of an activity that allows grade-8 school students to develop critical thinking skills by way of argumentation and decision making regarding social aspects related to chemistry in a real life context, namely the use of plastics.

The data obtained in this study appear to suggest that role-playing and, more specifically, staging of a debate, are well received by students and that they promote learning about aspects of chemistry such as the degradation of plastics, the importance of chemistry for society or contamination and the environment, as seen from the perceptions stated by the students, which indicate an enhanced understanding of chemistry (RQ2). Moreover, the positive emotions experienced indicate that this activity enhanced the motivation and interest of students in this topic (RQ3).

Although the majority position as regards this problem was initially in favor of banning the use of plastics, it was found that role-playing caused students to think again about the problem, as some students changed their decision to against or undecided. The arguments given to not ban them were based on the health situation or the importance of being well-

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

informed, a task they assumed when preparing their role or advising it and when evaluating the evidence-based arguments and counterarguments given by their companions (RQ1). The marked influence of confinement due to the pandemic means that students were more critical with both banning and environmental contamination, becoming aware of the dichotomy between the importance of chemistry for society and the potential environmental issues it may cause. Thus, the students have addressed the complex situation of the problem of plastics in society. On the one hand, plastics have helped to improve our health or sanitation. However, on the other hand, plastics are causing major environmental problems. The changes of opinion, which are considered to be revealing, did not result in any statistically significant differences in the sample analyzed.

These preliminary findings highlight the importance of including this type of activity in the chemistry classroom to improve students' argumentation skills and decision making as future citizens with regard to problems in which chemistry is involved, thereby improving their critical thinking. Moreover, they also highlight the difficulties faced by students when considering problems from all viewpoints as, in this case, students mainly focused the debate about plastics on the aspects of environmental and health protection, given that they form part of the essential materials used during the pandemic (face masks, gloves, protective equipment, etc.), with little attention being paid to other aspects, such as the consequences of degradation on human health.

9. Funding

This work is part of the R&D project, reference PID2019- 105765GA-I00, entitled "Citizens with critical thinking: A challenge for teachers in science education", financed by the Spanish Government in the 2019 call.

Notes The authors declare no competing financial interest.

10. References

1. Lusher, A.; Hollman, P.; Mendoza, J. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety; FAO: United Kingdom, 2017.
2. Van Heuvelen, K. M.; Daub, G. W.; Hawkins, L. N.; Johnson, A. R.; Van Ryswyk, H.; Vosburg, D. A. How do I design a chemical reaction to do useful work? Reinvigorating general chemistry by connecting chemistry and society. *Journal of Chemical Education* **2020**, 97(4), 925-933, DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b00281
3. Sjostrom, J.; Talanquer, V. Humanizing chemistry education: From simple contextualization to multifaceted problematization. *Journal of Chemical Education* **2014**, 91(8), 1125-1131, DOI: 10.1021/ed5000718

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

4. Van Berkel, B.; Pilot, A.; Bulte, A. Micro-Macro Thinking in Chemical Education: Why and How to Escape. In Multiple representations in chemical education; Gilbert, J.; Treagust, D., Eds.; Springer: New York, 2009; pp. 31-54. DOI: 10.1007/978-1-4020-8872-8_3
5. Cook, D. H. Conflicts in Chemistry: The Case of Plastics, A Role-Playing Game for High School Chemistry Students. *Journal of Chemical Education* **2014**, 91(10), 1580–1586, DOI: 10.1021/ed4007277
6. Rahayu, S. Socio-scientific Issues (SSI) in Chemistry Education: Enhancing Both Students' Chemical Literacy & Transferable Skills. *J. Phys.: Conf. Ser.* **2019**, 1227, 012008, DOI: 10.1088/1742-6596/1227/1/012008
7. Ke, L.; Sadler, T. D.; Zangori, L.; Friedrichsen, P. J. Developing and Using Multiple Models to Promote Scientific Literacy in the Context of Socio-Scientific Issues. *Science & Education* **2021**, 30, 589–607, DOI: 10.1007/s11191-021-00206-1
8. Grieger, K.; Leontyev, A. Student-Generated Infographics for Learning Green Chemistry and Developing Professional Skills. *Journal of Chemical Education* **2021**, 98, 2881, DOI: 10.1021/acs.jchemed.1c00446
9. Gobierno de España, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato; B.O.E. núm. 3, de 3 de enero, 2015; pp. 169–546. <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>.
10. Nida, S.; Marsuki, M. F.; Eilks, I. Palm-Oil-Based Biodiesel in Indonesia: A Case Study on a Socioscientific Issue That Engages Students to Learn Chemistry and Its Impact on Society. *Journal of Chemical Education* **2021**, 98(8), 2536–2548, DOI: 10.1021/acs.jchemed.1c00244
11. Feierabend, T.; Eilks, I. Teaching the societal dimension of chemistry using a socio-critical and problem-oriented lesson plan based on bioethanol usage. *Journal of Chemical Education* **2011**, 88(9), 1250–1256, DOI: 10.1021/ed1009706
12. Jiménez-Aleixandre, M. P. Argumentation in science education: An overview. In Argumentation in science education; Jiménez-Aleixandre, M. P.; Erduran, S., Eds.; Springer: New York, 2007; pp 3 –27. DOI: 10.1007/978-1-4020-6670-2_1
13. Smith, M.; Love, D. C.; Rochman, C. M.; Neff, R. A. Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports* **2018**, 5(3), 375–386, DOI: 10.1007/s40572-018-0206-z
14. Lebreton, L. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Sci. Rep.* **2018**, 8(1), 1-15, DOI: 10.1038/s41598-018-22939-w
15. De Waard, E. F.; Prins, G. T.; Van Joolingen, W. R. Pre-university students' perceptions about the life cycle of bioplastics and fossil-based plastics. *Chemistry Education Research and Practice* **2020**, 21(3), 908–921, DOI: 10.1039/C9RP00293F

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

16. Burmeister, M.; Rauch, F.; Eilks, I. Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice* **2012**, 13(2), 59–68, DOI: 10.1039/C1RP90060A
17. Blanco-López, Á.; España-Ramos, E.; Franco-Mariscal, A. J. Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Ápice, Revista de Educación Científica* **2017**, 1(1), 107–115, DOI: 10.17979/arec.2017.1.1.2004
18. Smythe, A. M.; Higgins, D. A. (Role) playing politics in an environmental chemistry lecture course. *Journal of Chemical Education* **2007**, 84 (2), 241, DOI: 10.1021/ed084p241
19. Kimbrough, D. R.; Dyckes, D. F.; Mlady, G. Teaching science and public policy through role playing. *Journal of Chemical Education* **1995**, 72(4), 295, DOI: 10.1021/ed072p295
20. Simonneaux, L. Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis. *International Journal of Science Education* **2001**, 23(9), 903–927, DOI: 10.1080/09500690010016076
21. Driver, R.; Newton, P.; Osborne, J. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education* **2000**, 84(3), 287–312, DOI: 10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A
22. McSharry, G.; Jones, S. Role-play in science teaching and learning. *School Science Review* **2000**, 82 (298), 73– 82.
23. Craciun, D. Role-playing as a creative method in science education. *J. Sci. Arts* **2010**, 10(1), 175-182.
24. Banks, G.; Clinchot, M.; Cullipher, S.; Huie, R.; Lambertz, J.; Lewis, R.; Weinrich, M. Uncovering chemical thinking in students' decision making: A fuel-choice scenario. *Journal of Chemical Education* **2015**, 92(10), 1610–1618, DOI: 10.1021/acs.jchemed.5b00119
25. Cebrián-Robles, D.; Franco-Mariscal, A. J.; Blanco-López, A. Preservice elementary science teachers' argumentation competence: impact of a training programme. *Instructional Science* **2018**, 46(5), 789–817, DOI: 10.1007/s11251-018-9446-4
26. Levintova, E.; Johnson, T.; Scheberle, D.; Vonck, K. Global citizens are made, not born: Multiclass role-playing simulation of global decision making. *Journal of Political Science Education* **2011**, 7(3), 245–274, DOI: 10.1080/15512169.2011.590075
27. Salen, K.; Zimmerman, E. Rules of play: Game design fundamentals; MIT Press: Cambridge, MA, 2004; p 80.
28. Franco-Mariscal, A. J.; Oliva-Martínez, J. M.; Almoraima Gil, M. L. Students' perceptions about the use of educational games as a tool for teaching the periodic table of elements at the high school level. *Journal of Chemical Education* **2015**, 92(2), 278–285, DOI: 10.1021/ed4003578

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio


29. The European Parliament and the Council of the European Union. Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and the Council, of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment; European Union, Brussels, 2019.
30. Adam, I.; Walker, T. R.; Bezerra, J. C.; Clayton, A. Policies to reduce single-use plastic marine pollution in West Africa. *Marine Policy* **2020**, 116, 103928, DOI: 10.1016/j.marpol.2020.103928
31. Obergriesser, S.; Stoeger, H. Students' emotions of enjoyment and boredom and their use of cognitive learning strategies – How do they affect one another? *Learning and Instruction* **2020**, 66, 101285, DOI: 10.1016/j.learninstruc.2019.101285
32. Linnenbrink, E. A.; Pintrich, P. R. The role of motivational beliefs in conceptual change. In *Reconsidering conceptual change: issues in theory and practice*; Limon, M., Mason, L., Eds.; Kluwer Academic Publishers: Netherlands, 2002; pp 115– 135.
33. Rosenberg, E. L. Levels of analysis and the organization of affect. *Review of General Psychology* **1998**, 2, 247–270, DOI: 10.1037/1089-2680.2.3.247
34. Kagan, J. *What is emotion?: History, measures, and meanings*; Vail-Ballou Pr.: Binghamton, 2007.
35. Hierrezuelo-Osorio, J. M.; Cebrián, D.; Brero, V. B.; Franco-Mariscal, A. J. The use of plastics as a socio-scientific issue for developing critical thinking through argumentation with pre-service teachers. *ASE International*, **2021**, 12, 50–59.
36. Fornas Carrasco, R. Criterios para evaluar la calidad y fiabilidad de los contenidos en internet. *Revista Española de Documentación Científica* **2003**, 26(1), 75–80, DOI: 10.3989/redc.2003.v26.i1.226
37. Toulmin, S. E. *The uses of argument*, 3rd ed.; Cambridge University Press: Cambridge, 2003.
38. Osborne, J. F.; Henderson, J. B.; MacPherson, A.; Szu, E.; Wild, A.; Yao, S. Y. The development and validation of a learning progression for argumentation in science. *Journal of Research in Science Teaching* **2016**, 53(6), 821– 846, DOI: 10.1002/tea.21316
39. Gil Madrona, P. Emociones auto-percibidas en las clases de educación física en primaria. *Universitas Psychologica* **2015**, 14(3), 923–935, DOI: 10.11144/Javeriana.upsy14-3.eapc

11. Associated content

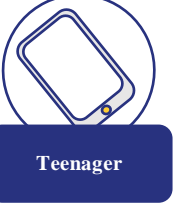
Questionnaire concerning perceptions of role-playing and chemical knowledge acquired


Activity Role-Playing
First and Last Name:
Course:
With regard to role-playing
Score the activity from 0 to 10 points:
Indicate positive aspects of the activity:
Indicate negative aspects of the activity:
With regard to your perception of the chemical understanding acquired:
Give a score of between 0 and 10 before the role-playing:
Give a score of between 0 and 10 after the role-playing:
I have learned...

Student handouts


	ROLE SUPPORTING THE BAN ON SINGLE-USE PLASTICS
First and Last Name(s):	
Course:	Date:
Description of role: The materials you manufacture are an alternative to the use of plastics For instance, bags, cups and other packaging, all made from materials that can be readily destroyed in nature. You employ five technicians and a technical engineer.	
Provide arguments to defend the position of your character. To do that, use scientific articles, newspapers, web pages with scientific rigour, videos, images, etc.	
Write down arguments by other characters that you think you can refute	

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio


 <p>Teenager</p>	<h3>ROLE SUPPORTING THE BAN ON SINGLE-USE PLASTICS</h3>
First and Last Name(s):	
Course:	Date:
<p>Description of role: You are a teenager aged between 12 and 16 years. The consequences of plastic contamination are of interest to you and you believe this is a problem of vital importance. Yesterday you heard a news item on the TV about the new European legislation concerning the ban on single-use plastics in 2021 and you consider this to be a good idea.</p>	
<p>Provide arguments to defend the position of your character. To do that, use scientific articles, newspapers, web pages with scientific rigour, videos, images, etc.</p>	
<p>Write down arguments by other characters that you think you can refute</p>	

	ROLE SUPPORTING THE BAN ON SINGLE-USE PLASTICS
First and Last Name(s):	
Course:	Date:
Description of role: You go out fishing every morning. Every day, your nets collect more plastics and fewer fish. You think that the new European legislation banning single-use plastics in 2021 may be a solution to your problem.	
Provide arguments to defend the position of your character. To do that, use scientific articles, newspapers, web pages with scientific rigour, videos, images, etc.	
Write down arguments by other characters that you think you can refute	


Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

 <p>Environmental scientist</p>	ROLE SUPPORTING THE BAN ON SINGLE-USE PLASTICS
First and Last Name(s):	
Course:	Date:
<p>Description of role: You are researching the levels of plastic contamination in ecosystems. Your findings show that contamination of the oceans has increased markedly over the past 10 years, that increasing numbers of species have microplastics in their stomachs, and that this situation is having irreversible effects on the environment.</p>	
<p>Provide arguments to defend the position of your character. To do that, use scientific articles, newspapers, web pages with scientific rigour, videos, images, etc.</p>	
<p>Write down arguments by other characters that you think you can refute</p>	


Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

 <p>CEO of an oil company</p>	<p>ROLE AGAINST THE BAN ON SINGLE-USE PLASTICS</p>
<p>First and Last Name(s):</p>	
<p>Course:</p>	<p>Date:</p>
<p>Description of role: Numerous single-use plastic products are manufactured using the crude oil extracted by your company. The new legislation may lead to closure of the company.</p>	
<p>Provide arguments to defend the position of your character. To do that, use scientific articles, newspapers, web pages with scientific rigour, videos, images, etc.</p>	
<p>Write down arguments by other characters that you think you can refute</p>	


Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

 <p>Worker in a factory manufacturing plastic cutlery</p>	<h3>ROLE AGAINST THE BAN ON SINGLE-USE PLASTICS</h3>
First and Last Name(s):	
Course:	Date:
<p>Description of role: You work in a factory manufacturing plastic plates and cutlery. More than 1000 items are manufactured every day. The new legislation may mean that you and all your workmates lose their jobs due to closure of the factory.</p>	
<p>Provide arguments to defend the position of your character. To do that, use scientific articles, newspapers, web pages with scientific rigour, videos, images, etc.</p>	
<p>Write down arguments by other characters that you think you can refute</p>	

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

 <p>Owner of a surgical products factory</p>	<p>ROLE AGAINST THE BAN ON SINGLE-USE PLASTICS</p>
<p>First and Last Name(s):</p>	
<p>Course:</p>	<p>Date:</p>
<p>Description of role: You are the owner of a factory manufacturing disposable plastic sanitary products, such as gloves or masks, to prevent disease transmission with 100% effectiveness. The new legislation will lead to these products being banned.</p>	
<p>Provide arguments to defend the position of your character. To do that, use scientific articles, newspapers, web pages with scientific rigour, videos, images, etc.</p>	
<p>Write down arguments by other characters that you think you can refute</p>	

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

 Teenager	ROLE AGAINST THE BAN ON SINGLE-USE PLASTICS
First and Last Name(s):	
Course:	Date:
<p>Description of role: Yesterday you heard about the new legislation banning single-use plastics in 2021 on the news. You have thought about this topic and realised that, because of this legislation, you will no longer be able to take doughnuts or crisps to school as a snack as many types of packaging will have to be modified and this will require an effort from everybody.</p>	
<p>Provide arguments to defend the position of your character. To do that, use scientific articles, newspapers, web pages with scientific rigour, videos, images, etc.</p>	
<p>Write down arguments by other characters that you think you can refute</p>	

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Notes for instructor

Staging of role-playing

The debate stages in three parts:

Part I: Presentation of the problem by the presenters and initial intervention of each role (10 minutes).

Each character presented their arguments in one minute, and the advisers took note of the strengths and weaknesses of the arguments for the other roles.

Part II: Meeting of each role with their advisers to exchange notes and provide counterarguments (5 minutes).

Part III: Debate (20 minutes). Reply and counter-reply.

Capítulo 4. Artículos que conforman el compendio

Questionnaire about emotions experienced during the activity¹

Choose one of the seven points on the scale for each pair of opposite emotions:

	Very	Fairly	Somewhat	Indifferent	Somewhat	Fairly	Very	
Afraid	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Calm
Stressed	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Relaxed
Worried	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Unconcerned
Insecure	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Confident
Displeased	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Glad
Suspicious	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Entrusted
Unhappy	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Happy
Bored	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Enthusiastic
Unsatisfied	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Satisfied
Uninterested	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Interested

¹Adapted from Gil, P.; Martínez, M. Emociones auto-percibidas en las clases de educación física en primaria. *Universitas Psychologica*, 2015, 14 (3), 923-935

Capítulo 5. Síntesis y conclusiones

Síntesis

A continuación, se expone una síntesis de los hallazgos más destacadas obtenidas atendiendo a cada una de las preguntas de investigación que han guiado esta Tesis Doctoral.

- **Pregunta de investigación a): ¿Qué proporción de la investigación e innovación en Didáctica de las Ciencias Experimentales de la última década (2010-2019) se centra en el problema de los plásticos?**

A pesar de la importancia de los plásticos y su contaminación, los resultados encontrados no parecen sugerir, al menos, en cuanto al número de investigaciones publicadas, una escuela generadora de sensibilización y concienciación ambiental que permita a los ciudadanos y ciudadanas dar respuestas eficaces y resolver problemas ambientales. Una primera evidencia es el escaso porcentaje de publicaciones sobre plásticos en Didáctica de las Ciencias Experimentales en la última década, algo más avanzado en el panorama nacional (3,4%) que internacional (2,3%). Estos datos están en la línea de otras revisiones (Fernández, 2008) que concluyen la escasez de investigaciones sobre educación ambiental o contaminación. Otro aspecto preocupante es la evolución del número de publicaciones en los últimos años. Así, mientras a nivel internacional parece apreciarse un repunte causado por acciones de activismo (Koch y Barber, 2019), en nuestro país se observa un estancamiento.

- **Pregunta de investigación b): ¿En qué medida el profesorado de ciencias no universitario participa en publicaciones especializadas en Didáctica de las Ciencias Experimentales sobre esta temática?**

- **Pregunta de investigación c): ¿Existe una colaboración frecuente en estas investigaciones entre profesorado especialista en Didáctica de las Ciencias Experimentales y profesorado de ciencias no universitario?**

El 79,2% de los trabajos están firmados por profesores universitarios. Probablemente esto sea debido a que las revistas de alto impacto, como las elegidas, están enfocadas a la publicación en el ámbito académico.

No se percibe una colaboración efectiva entre investigadores universitarios y de otros niveles educativos, como educación secundaria, donde se realizan un buen número de investigaciones, al menos, en nuestro país (18,8%). Esta colaboración entre autores supondría grandes ventajas para mejorar el problema desde la realidad escolar ya que estos docentes tienen contacto directo y repercusión sobre el alumnado, y deben ser ellos los que se impliquen en tareas de concienciación ciudadana (Jaén et al., 2019). Se subraya la escasez de trabajos en etapas anteriores a secundaria, tan necesarias para contribuir a la educación ambiental desde edades tempranas (Corraliza y Collado, 2019).

- **Pregunta de investigación d): ¿Qué contenidos de los plásticos abordan estos estudios, con qué metodología y enfoque de enseñanza?**

La composición y propiedades de los plásticos se presentan como contenidos mayoritarios, mostrando la importancia que tienen para nuestras vidas, y vislumbrándose una escasez de prácticas sobre contaminación, concienciación ambiental y planteamiento de soluciones. Se echan en falta estudios sobre la relación directa entre contaminación por plásticos y salud (Cersonsky et al., 2017; Miller y Czegan, 2016), lo que hace pensar que esta perspectiva del problema prácticamente se está ignorando, cuando cada vez son más los estudios que muestran las consecuencias de los plásticos sobre nuestro organismo (Smith et al., 2018).

La mayor parte de los contenidos están centrados en un conocimiento propedéutico, enfoque mayoritario en la práctica docente habitual del profesorado de ciencias en ejercicio (Furió et al., 2001). Este enfoque no se ajusta al aprendizaje contextualizado y competencial, esencial para el desarrollo de la alfabetización científica (Pedrinaci et al., 2012). Como indican Corraliza y Collado (2019) no es suficiente con la difusión de información y conocimientos, es necesario promover experiencias significativas. Desde nuestro punto de vista, la enseñanza-aprendizaje de los plásticos debería orientarse a resolver un problema socio-científico a través de prácticas científicas que permitan conocer todas sus perspectivas, repercusiones ambientales y medidas a adoptar. Todo ello, permitiría desarrollar habilidades de pensamiento crítico en los estudiantes.

Del mismo modo, la mejora en algunos aspectos metodológicos podría contribuir a avanzar en la enseñanza-aprendizaje de los plásticos. Así, el uso de metodologías cuantitativas y mixtas, menos empleadas en el marco español respecto al internacional, y el uso de diversidad de instrumentos de naturaleza más competencial podrían contribuir a este fin.

- **Pregunta de investigación e): ¿Cómo puede contribuir el problema socio-científico de los plásticos a desarrollar habilidades de pensamiento crítico en las distintas actividades planteadas en una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje sobre este tema?**

El desarrollo de habilidades de pensamiento crítico permitiría a la enseñanza de la química avanzar en su capacidad de proponer soluciones para algunos de los problemas socio-científicos en los que la química y la sociedad están involucradas, como el problema ambiental causado por los plásticos. La educación química debe contribuir a formar ciudadanos y ciudadanas responsables, conscientes de la realidad que les rodea, que la analicen críticamente y que sean conscientes de que las decisiones que toman en su vida cotidiana tienen consecuencias globales. Dada su importancia, varios autores (Zohar y Nemet, 2002; Darmaji, et al., 2020) argumentan que para avanzar en el desarrollo de estas habilidades se deben ofrecer oportunidades dentro de las aulas de ciencias.

Las diferentes tareas incluidas en la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje presentada sobre los plásticos para estudiantes de 2º de E.S.O. han proporcionado evidencias que contribuyen al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico, junto con algunos ejemplos de cómo se puede evaluar el progreso del alumnado.

Así, la elaboración de murales sobre los tipos de plásticos, sus propiedades y aplicaciones contribuye al entendimiento de los conocimientos implicados en el problema, el análisis crítico de la información y la autonomía personal, mientras que el uso de clips para modelizar la composición y estructura de los plásticos favorece al entendimiento de los conocimientos y la autonomía personal. Por su parte, el desarrollo de una indagación sobre la degradación ambiental de los plásticos desarrolla su visión de la química y ayuda a comprender el problema de una forma holística. Asimismo, la participación en un juego de rol sobre la prohibición de plásticos de un solo uso desarrolla las habilidades de argumentación y toma de decisiones, y favorece entender el problema en su conjunto. Por último, la elaboración de audiocuentos permite sintetizar todo lo aprendido sobre los plásticos, y comunicar la química.

• **Pregunta de investigación f): ¿Qué ideas iniciales e hipótesis plantean los estudiantes sobre la degradación de plásticos expuestos a la intemperie?**

De forma mayoritaria, las y los estudiantes mostraron estas ideas iniciales en torno al problema:

- (a) Son conscientes de que los plásticos no se descomponen por sí solos y necesitan muchos años para su descomposición. Muchos estudiantes pensaban que probablemente 100 días sería insuficiente para que los plásticos se degradasen completamente, pero que ese tiempo les daría una idea de los principales cambios que tienen lugar en estos materiales.
- (b) Este tiempo de descomposición tan largo tiene como consecuencias la contaminación del planeta Tierra al completo, encontrándose así plásticos en lugares recónditos, como a miles de metros de profundidad del océano o, puede que, incluso hasta en nuestro estómago.

Asimismo, plantearon de forma grupal y consensuada las siguientes hipótesis respecto a su aspecto final tras la indagación.

- (a) Hipótesis 1: Los plásticos de menor espesor se acabarán rompiendo por el efecto de los agentes meteorológicos, mientras que los de mayor espesor no sufrirán cambios significativos debido a su gran resistencia.
- (b) Hipótesis 2: El sol afectará a los plásticos coloreados o que tengan información impresa produciendo una pérdida de color.
- (c) Hipótesis 3: Los plásticos blancos o transparentes no perderán color.

- **Pregunta de investigación g): ¿Qué cambios en los plásticos observan los estudiantes a lo largo del tiempo al desarrollar la indagación? ¿Qué modelos explicativos proponen para justificar los cambios observados?**

Las observaciones realizadas por los estudiantes mostraron dos cambios (arrugas y dobleces) como efectos más apreciables. Al tratarse de un material impermeable, la lluvia no le afecta, lo que impide que se reblandezca y, por tanto, que se rompa. Cuando el plástico es más resistente como el de una libreta, sólo sufre pequeñas arrugas y no se dobla. Otros cambios detectados, aunque no en todas las muestras, fueron la aparición de algunos puntos negros, probablemente debidos a la formación de algún tipo de moho debido a la lluvia o la rotura de una bolsa. Sólo en el caso de aquellas muestras con alguna parte impresa se produjo una leve pérdida de esta información.

Respecto a los modelos explicativos propuestos por las y los estudiantes se extraen estas conclusiones:

- (a) El alumnado explica la aparición de arrugas porque se produce una pérdida de elasticidad, es decir, el material se deforma permanentemente, porque alcanza el estado de plasticidad.
- (b) La aparición de dobleces fue explicada por una pérdida de elasticidad.
- (c) La aparición de manchas o suciedad la relacionaron con la humedad adquirida por el material.
- (d) Para los cambios de color el alumnado indicó que probablemente estaba causado por reacciones químicas de oxidación o por la degradación de pigmentos a consecuencia de la radiación solar.
- (e) El modelo explicativo dado para la aparición de olor fue la degradación de componentes del material como efecto de la acción de microorganismos.
- (f) La separación en partes o fibras la explicaron por una pérdida de cohesión.
- (g) El desprendimiento de un trozo o se deshace la explicaron por la fragilidad del material, es decir, porque se superaba el valor máximo de deformación permanente, y se produce una pérdida de cohesión entre los componentes.

- **Pregunta de investigación h): ¿Cómo explican la degradación producida en los plásticos durante el tiempo de exposición? ¿Qué conclusiones obtienen?**

A continuación, se muestran las explicaciones dadas para cada agente atmosférico:

- (a) El viento causa una pérdida de elasticidad del material y es responsable de la aparición de arrugas y dobleces (degradación mecánica). Esto está asociado a los efectos macroscópicos que llevan a la fractura y deformación producido por el influjo de las fuerzas de tracción o cizalla. El hecho de haberse observado el rasgado solo en algunos plásticos muestra que la cohesión de las partículas que lo constituyen debe ser fuerte. Asimismo, se observa que los plásticos no son materiales frágiles puesto que no se desprenden trozos de plásticos ni se deshacen con facilidad.

Capítulo 5. Síntesis y conclusiones

- (b) La higroscopicidad o capacidad de un material para absorber y exhalar la humedad está relacionada con el hecho de mojarse por la lluvia, y posteriormente, con la aparición de manchas y suciedad, que solo se apreciaron de forma puntual en algunos plásticos (degradación hidrolítica). Con la absorción de agua ocurre una hinchazón que genera tensiones internas que acaba rompiendo enlaces débiles, sin embargo, la impermeabilidad del plástico es responsable de que no se haya producido por la lluvia un hinchamiento del material.
- (c) La radiación solar es responsable del cambio de color en plásticos teñidos o con información impresa en los mismos (radiaciones de alta energía). Esto es debido a que las radiaciones de energía elevadas producen enlaces químicos entre moléculas diferentes, escisiones irreversibles dando como resultado la fragmentación de la molécula que forman o degradan grupos no saturados. Probablemente también hayan ocurrido oxidaciones que han dado lugar a estas transformaciones (degradación química) de forma espontánea cuando los polímeros han entrado en contacto con algunas sustancias químicas, concretamente, el oxígeno molecular de la atmósfera.
- (d) La no detección de olor es indicativa de que los agentes atmosféricos, junto con los microorganismos no han sido capaces de producir la degradación de los componentes del plástico. Esta biodegradación consiste en la degradación de alguna molécula por parte de seres vivos, los cuales son capaces de degradar fácilmente polímeros naturales como la madera o el marfil, pero muy difícilmente los polímeros plásticos.

Las conclusiones alcanzadas por el estudiantado tras la indagación fueron:

- (a) La exposición de plásticos a condiciones ambientales durante 100 días es insuficiente para que se observe una degradación completa del plástico, puesto que las muestras estudiadas permanecieron prácticamente sin cambios apreciables en dicho tiempo. Por tanto, se requiere mucho más tiempo para observar cambios químicos.
- (b) El espesor del plástico no ha sido una característica importante que facilite su degradación puesto que algunas bolsas de plástico de menor espesor no se rasgaron y otras de mayor espesor sí lo hicieron (hipótesis 1 rechazada).
- (c) La degradación por radiación del sol produce pérdidas de color en plásticos coloreados y también en la información impresa contenida en ellos (hipótesis 2 confirmada).
- (d) El sol produce pérdidas de color en plásticos blancos, pero no en transparentes (hipótesis 3 rechazada).
- (e) La principal propiedad de los plásticos responsable de estos primeros cambios observados es la elasticidad. Por otro lado, la elevada resistencia y cohesión de los plásticos o su escasa capacidad higroscópica favorecen que no se produzca una mayor degradación a corto plazo.

- (f) La lenta descomposición de materiales plásticos, supone una larga vida en el medio, por lo que podrían producir contaminación, principalmente de aguas, así como un riesgo para algunos animales si llegaran a ingerirlos.

• **Pregunta de investigación i): ¿Cómo vinculan los resultados obtenidos en su indagación con los efectos ambientales?**

Los estudiantes, de forma mayoritaria, reflejaron en sus memorias que, los plásticos presentaron una mayor dificultad para sufrir una degradación hidrolítica y biodegradación. Sin embargo, al segundo día de exposición ya observaron degradación mecánica por efecto del viento. Debido a que el tiempo de degradación de los plásticos es muy largo, y su abandono puede traer consecuencias para el medio ambiente, se requiere de una concienciación social que favorezca su reciclaje y evite que los ciudadanos los depositen en cualquier lugar. Esta concienciación debe empezar en el ámbito educativo, y en este sentido, la experiencia mostrada debe considerarse como el punto de partida para crear una primera sensibilización ambiental ante este problema, que debe irse reforzando con otras actividades en el aula.

• **Pregunta de investigación j): ¿Qué decisiones toman los estudiantes con respecto a la prohibición de los plásticos de un solo uso antes y después de participar en el juego de rol? ¿Cómo argumentan posibles cambios en su decisión?**

Si bien la posición mayoritaria frente a este problema fue inicialmente a favor de prohibir el uso de plásticos, el juego de rol hizo que las y los estudiantes reconsideraran el problema, ya que algunos de ellos cambiaron su decisión a en contra o a indecisos. Los argumentos que dieron para no prohibirlos se relacionaron con la salud o la importancia de estar bien informados, que asumieron al preparar su rol o asesorarlo y al evaluar los argumentos y contraargumentos basados en pruebas de sus compañeros/as.

La marcada influencia del confinamiento por la pandemia hizo que el alumnado fuera más crítico tanto con la prohibición como con la contaminación ambiental, tomando conciencia de la dicotomía entre la importancia de la química para la sociedad y los posibles problemas ambientales que puede ocasionar. Así, los alumnos han abordado la compleja situación del problema de los plásticos en la sociedad. Por un lado, los plásticos han ayudado a mejorar nuestra salud o saneamiento. Sin embargo, por otro lado, los plásticos están causando importantes problemas ambientales. Los cambios de opinión, que se consideran reveladores, no dieron lugar a diferencias estadísticamente significativas en la muestra analizada.

- **Pregunta de investigación k): ¿Cuáles son las percepciones de los estudiantes sobre el juego de rol y de su comprensión sobre los plásticos antes y después de la actividad?**

Las y los estudiantes otorgaron a la actividad 8,4 puntos sobre 10, lo que se considera muy positivo. La mayoría del estudiantado (54,5%) consideró la puesta en escena del juego de rol como el mejor aspecto de la actividad, entendiendo por ello la posibilidad de debatir sobre plásticos. En menor proporción (22,7%) consideraron que aprender sobre la química de los plásticos, o escuchar los argumentos de otros compañeros, fue el mejor aspecto, mientras que el 47,4% afirmó que no hubo ningún aspecto desfavorable a destacar. En menor medida, los estudiantes destacaron la imposibilidad de participar en la puesta en escena por ser asesor (15,8%) y la falta de tiempo para los asesores (15,8%) o el trabajo en grupo (15,8%). Este último aspecto también fue señalado como positivo, aunque en un grado ligeramente superior (18,2%), pareciendo así resaltar la importancia de una adecuada selección de los miembros del grupo por parte de la profesora y una buena distribución de las tareas ya que, en algunos casos, pudo causar algunos desacuerdos y otras ventajas significativas. Cabe señalar que el único aspecto relacionado con la química se encontró entre las valoraciones positivas dadas.

Su percepción de la comprensión sobre los plásticos aumentó en 2,4 puntos, de 5,7 (antes del juego de roles) a 8,1 puntos (después) sobre 10. Los estudiantes percibieron haber aprendido sobre química (70,4%) y sobre habilidades científicas (29,6%), especialmente cómo debatir y argumentar sobre química con base en evidencia. Respecto a la química, el 37,0% señaló aspectos relativos a la relación entre la química y la sociedad y la importancia de los plásticos de un solo uso para protegernos ante situaciones sanitarias, o sus efectos en la economía. Además, el 25,9% aludió a los efectos de la química en el medio ambiente, mientras que el 7,4% mencionó algunas propiedades o características aprendidas sobre los plásticos.

Finalmente, las percepciones de los estudiantes sugieren que el juego de roles promueve el aprendizaje sobre aspectos de la química como la degradación de los plásticos y la importancia de la química para la sociedad o la contaminación y el medio ambiente, lo que indica una mayor comprensión de la química.

- **Pregunta de investigación l): ¿Qué tipo de emociones aparecen en los estudiantes durante el juego de rol?**

Las emociones experimentadas durante el juego de roles fueron muy bien valoradas ya que todos los estudiantes tendieron a indicar emociones positivas de cada pareja mostrada, presentando la opción más favorable (muy) en todos los casos porcentajes que oscilaban entre 37% y 53%. Las emociones relajada, tranquila, confiada, alegre o satisfecha obtuvieron los porcentajes más altos (cerca del 50%). Estas emociones indican que esta actividad potenció la motivación y el interés de las y los estudiantes hacia el problema de los plásticos.

Capítulo 5. Síntesis y conclusiones

La emoción positiva mejor valorada fue relajación (53 %), y la emoción negativa más valorada fue preocupación (21 %). Probablemente indicativas de la actitud de los dos tipos de ciudadanos/as que podemos encontrar en la sociedad hacia los plásticos: personas con poca preocupación (relajada) o mucha preocupación (preocupada).

Los elementos de gamificación asociados al juego de rol pudieron ser responsables de algunas de las emociones señaladas: entusiasta y feliz por la motivación del juego, suspicaz por su impulso competitivo, o preocupado por discutir y contraargumentar adecuadamente en público como principal regla del juego.

Conclusiones de la investigación

En relación al objetivo general 1, podemos concluir que a nivel nacional la investigación didáctica en los diferentes niveles educativos no aborda suficientemente la problemática de la contaminación por plásticos, apreciándose en ella problemas como la escasa colaboración entre los niveles de enseñanza universitaria y no universitaria o los estudios excesivamente centrados en los conocimientos propedéuticos. Con ello se pierde una oportunidad para concienciar a los ciudadanos en esta problemática y su búsqueda de soluciones.

En relación al objetivo general 2, podemos concluir:

Primero, que se puede desarrollar el pensamiento crítico en edades tan tempranas como en estudiantes del segundo curso de E.S.O., utilizando el problema socio-científico de los plásticos en la enseñanza de la química. Este desarrollo del pensamiento crítico es complejo y permite al alumnado plantear diferentes explicaciones sobre los procesos de degradación que sufren estas sustancias.

Y segundo, que el trabajo en el aula usando como estrategias didácticas un juego de rol provocó un cambio en las decisiones de parte de los estudiantes acerca del uso de los plásticos de un solo uso, fomentando su conciencia ambiental y movilizand o opiniones críticas sobre este tipo de uso. Aunque no hubo diferencias significativas globales en los cambios de opinión en la muestra analizada, se aprecia que el juego de rol puede ser una estrategia útil para la enseñanza de la química y para movilizar emociones entre los estudiantes, contribuyendo a los aspectos motivacionales en el aprendizaje de las ciencias.

Consideraciones finales, limitaciones de la investigación y líneas futuras

Los resultados obtenidos tras el diseño y la implementación de la Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje sobre contaminación ambiental por plásticos con estudiantes de secundaria ponen de manifiesto la importancia de incorporar este tipo de experiencias en los currículos de las asignaturas de ciencias para esta etapa educativa. Este tipo de actividades permitirán mejorar las habilidades de pensamiento crítico de nuestro alumnado, es decir, lograr ciudadanos y ciudadanas capaces de analizar información, tomar decisiones o crear argumentos sobre cuestiones relacionadas con su vida diaria, con fundamentación científica.

Capítulo 5. Síntesis y conclusiones

En cuanto a las limitaciones, debido a que el número de horas de docencia en el centro educativo es limitado y un único docente no puede impartir clases en todos los niveles educativos de una etapa, con un elevado número de estudiantes, el tamaño muestral utilizado en este estudio puede dificultar la reproducibilidad de los resultados con un número mayor de participantes. No obstante, las muestras seleccionadas son adecuadas para investigar el potencial de las actividades aquí presentadas. Por otra parte, la situación de confinamiento debido a la pandemia por COVID-19 supuso una gran adaptación de la secuencia a la modalidad virtual de la enseñanza. Esto provocó algunos desequilibrios y dificultades como la falta de conexión de algunos estudiantes o el seguimiento con facilidad de los mismos. A su vez, esta situación también ha proporcionado resultados en el estudio únicos.

Sobre las futuras líneas de investigación, se pretende continuar con la implementación de esta Secuencia de Enseñanza Aprendizaje, así como llevarla a cabo con niveles educativos diferentes al aquí mostrado. Sumado a ello, esta Tesis Doctoral ha generado un gran volumen de datos que continuaremos analizando.

Capítulo 5. Síntesis y conclusiones

Chapter 5. Summary and conclusions

Synthesis

The following is a synthesis of the most important findings obtained in response to each of the research questions that have guided this Doctoral Thesis.

• **Research question a): What proportion of research and innovation in Science Education in the last decade (2010-2019) focuses on the problem of plastics?**

Despite the importance of plastics and their contamination, the results found do not appear to suggest a school that generates environmental awareness and sensitivity, thus allowing citizens to give effective responses and resolve environmental problems, at least as regards the number of research studies published. Initial evidence for this is provided by the limited number of publications concerning plastics in SE in the past decade, with this number being somewhat higher nationally (3.4%) than internationally (2.3%). These values are in agreement with those from other reviews (Fernández, 2008), which highlighted the shortage of studies in environmental education or contamination. Another worrying aspect is the evolution of the number of publications over the past few years. Thus, whereas there appears to be an increase internationally due to activist actions (Koch and Barber, 2019), this is not seen in Spain.

• **Research question b): To what extent do, non-university science teachers participate in specialized publications in Science Education on this topic?**

• **Research question c): Is there frequent collaboration in this research between teachers specializing in Science Education and non-university science teachers?**

The reason that 79.2% of studies are published by university lecturers is probably due to the fact that high-impact journals, such as those selected, tend to focus on studies in an academic setting. Similarly, effective collaboration between university-based researchers and those from other educational levels, such as secondary education, where a significant number of studies are performed, at least in Spain (18.8%), appears to be lacking. This type of collaboration between authors could represent a major advantage as regards resolving the problem from a school viewpoint as these teachers are in direct contact with students and can see the effects of such studies, therefore they should be the ones who are involved in raising citizens' awareness (Jaén et al., 2019). The very limited number of studies in pre-secondary settings, which are essential to reinforce environmental education from an early age, should be noted (Corraliza and Collado, 2019).

• **Research question d): What is the content of plastics in these studies, with what methodology and teaching approach?**

The composition and properties of plastics are presented as the main contents, highlighting their importance in our lives, although there is a clear lack of practical studies regarding contamination, environmental awareness and the proposal of solutions. Indeed, studies regarding the direct relationship between plastics contamination and health are lacking (Cersonsky et al., 2017; Miller and Czegan, 2016), thus suggesting that this aspect of the problem is being essentially ignored even though increasing numbers of studies demonstrate the effects of plastics on our bodies (Smith et al., 2018).

The majority of contents are based on a propedeutic approach, which tends to be the main approach used in standard teaching practice by science teachers (Furió et al., 2001). This approach does not benefit from the contextualised and competence-based learning required for the development of scientific literacy (Pedrinaci et al., 2012). As noted by Corraliza and Collado (2019), dissemination of information and knowledge tends to be insufficient on its own, therefore the promotion of significant experiences is necessary. From our viewpoint, the teaching-learning of plastics should be oriented towards resolving a socio-scientific issue by way of scientific practices that allow all the perspectives, environmental repercussions and measures to be adopted to be understood. This will allow the development of critical thinking skills in students.

Similarly, improvements to some methodological aspects may contribute to progress in the teaching-learning of plastics. For instance, the use of quantitative and mixed methodologies, which are less widely used in Spain than internationally, and the use of more competence-based instruments, may help in that regard.

• Research question e): How can the socio-scientific problem of plastics contribute to the development of critical thinking skills in the different activities proposed in a Teaching-Learning Sequence on this topic?

The development of critical thinking skills would allow chemistry education to progress in its ability to propose solutions for some of the SSI in which chemistry and society are involved, such as the environmental problem caused by plastics. Chemistry education should contribute to shaping responsible citizens who are aware of the reality around them, who analyse it critically and who are conscious of the fact that the decisions they make in their daily lives have global consequences. Given its importance, several authors argue that in order to advance in the development of these skills, opportunities must be offered within science classrooms.

Using different tasks, this study has provided evidence that contributes to the development of critical thinking skills in Spanish grade 8 school students, along with some examples of how the progress of these students can be evaluated. The results showed that significant progress had been made in the development of critical thinking skills by students. In this sense, the ideas presented in the paper are aimed at inspiring other teachers to take action. We can conclude that the development of critical thinking skills in chemistry is complex and can be promoted by reformulating chemistry study plans to concentrate on SSIs.

Thus, the elaboration of murals on the types of plastics, their properties and applications contributes to the understanding of the knowledge involved in the problem, the critical analysis of information and personal autonomy, while the use of clips to model the composition and structure of plastics favours the understanding of knowledge and personal autonomy. The development of an inquiry on the environmental degradation of plastics develops their view of chemistry and helps to

• **Research question (f): What initial ideas and hypothesis do students have about the degradation of plastics exposed to the elements?**

Most of the students showed these initial ideas about the problem:

(a) They are aware that plastics do not decompose on their own and need many years to decompose. Many students thought that 100 days would probably be insufficient for plastics to degrade completely, but that this time would give them an idea of the major changes that take place in these materials.

(b) This long decomposition time results in the contamination of the entire planet Earth, with plastics being found in hidden places, such as thousands of meters deep in the ocean or perhaps even in our stomachs.

They also made the following hypotheses as a group and by consensus as to how they would ultimately look after the research.

(a) Hypothesis 1: Thinner plastics will eventually break down due to weathering, while thicker plastics will not change significantly due to their high strength.

(b) Scenario 2: The sun will affect plastics that are colored or have printed information on them, resulting in a loss of colour.

(c) Scenario 3: White or transparent plastics will not fade.

• **Research question g): What changes in plastics do students observe over time as they develop the enquiry? What explanatory models do they propose to justify the observed changes?**

The observations made by the students showed two changes (wrinkling and folding) as the most noticeable effects. As it is a waterproof material, it is not affected by rain, which prevents it from softening and therefore from breaking. When the plastic is more resistant, such as that of a notebook, it only suffers small wrinkles and does not bend. Other changes detected, although not in all the samples, were the appearance of some black spots, probably due to the formation of some kind of mould due to rain or the breakage of a bag. Only in the case of those samples with some printed parts was there a slight loss of this information.

With regard to the explanatory models proposed by the students, the following conclusions can be drawn:

(a) The pupils explain the appearance of wrinkles because there is a loss of elasticity, i.e. the material is permanently deformed, because it reaches the state of plasticity.

(b) The appearance of kinks was explained by a loss of elasticity.

(c) The appearance of stains or dirt was related to the humidity acquired by the material.

(d) For the colour changes the students indicated that it was probably caused by chemical oxidation reactions or by the degradation of pigments as a consequence of solar radiation.

(e) The explanatory model given for the occurrence of odour was the degradation of material components as an effect of the action of micro-organisms.

(f) The separation into parts or fibers was explained by a loss of cohesion.

(g) The detachment of a piece or the unravelling of a piece was explained by the brittleness of the material, i.e. because the maximum value of permanent deformation was exceeded, and a loss of cohesion between the components occurs.

• **Research question h): How do you explain the degradation of plastics during exposure time? What conclusions do you draw?**

The explanations given for each atmospheric agent are shown below:

(a) Wind causes a loss of elasticity of the material and is responsible for the appearance of wrinkles and folds (mechanical degradation). This is associated with macroscopic effects leading to fracture and deformation caused by the influence of tensile or shear forces. The fact that tearing has been observed only in some plastics shows that the cohesion of the constituent particles must be strong. It is also observed that plastics are not brittle materials since no pieces of plastics break off and do not fall apart easily.

(b) The hygroscopicity or ability of a material to absorb and exhale moisture is related to the fact of getting wet by rain, and subsequently, to the appearance of stains and dirt, which were only occasionally observed in some plastics (hydrolytic degradation). With the absorption of water, swelling occurs, which generates internal stresses that eventually break weak bonds, but the impermeability of the plastic is responsible for the fact that no swelling of the material has occurred due to the rain.

(c) Solar radiation is responsible for colour change in dyed plastics or plastics with printed information on them (high energy radiation). This is because high energy radiation produces chemical bonds between different molecules, irreversible cleavages resulting in fragmentation of the molecule forming or degrading unsaturated groups. Oxidations leading to these transformations (chemical degradation) have probably also occurred spontaneously when polymers have come into contact with some chemicals, namely molecular oxygen in the atmosphere.

(d) The non-detection of odour is indicative that atmospheric agents, together with micro-organisms, have not been able to produce the degradation of the plastic components. This biodegradation consists of the degradation of some molecule by living organisms, which are easily able to degrade natural polymers such as wood or ivory, but very hardly plastic polymers.

The conclusions reached by the students following the survey were:

(a) Exposure of plastics to ambient conditions for 100 days is insufficient for complete degradation of the plastic to be observed, as the samples studied remained virtually unchanged during this time. Therefore, much more time is required to observe chemical changes.

(b) The thickness of the plastic was not an important characteristic facilitating degradation as some thinner plastic bags did not tear and some thicker plastic bags did tear (rejected hypothesis 1).

Capítulo 5. Síntesis y conclusiones

(c) Degradation by radiation from the sun leads to loss of colour in coloured plastics and also in the printed information contained in them (confirmed hypothesis 2).

(d) The sun causes colour loss in white plastics, but not in transparent plastics (rejected hypothesis 3).

(e) The main property of plastics responsible for these first observed changes is elasticity. On the other hand, the high strength and cohesion of plastics or their low hygroscopic capacity means that further degradation does not occur in a short term.

(f) The slow decomposition of plastic materials means that they have a long life in the environment, so they could cause pollution, mainly of water, as well as a risk for some animals if they were to ingest them.

• **Research question (i): How do you link your research findings to environmental effects?**

Most of the students reported in their reports that the plastics were more difficult to undergo hydrolytic degradation and biodegradation. However, on the second day of exposure, mechanical degradation due to the effect of wind was observed. Because the degradation time of plastics is very long, and their abandonment can have consequences for the environment, social awareness is needed to encourage recycling and to prevent citizens from disposing of plastics anywhere. This awareness-raising must begin in the educational sphere, and in this sense, the experience shown should be considered as the starting point for creating an initial environmental awareness of this problem, which should be reinforced with other activities in the classroom.

• **Research question j): What decisions do students make regarding the ban on single-use plastics before and after participating in the role-play? How do they argue for possible changes in their decision?**

Although the majority position as regards this problem was initially in favor of banning the use of plastics, it was found that role-playing caused students to think again about the problem, as some students changed their decision to against or undecided. The arguments given to not ban them were based on the health situation or the importance of being well-informed, a task they assumed when preparing their role or advising it and when evaluating the evidence-based arguments and counterarguments given by their companions. The marked influence of confinement due to the pandemic means that students were more critical with both banning and environmental contamination, becoming aware of the dichotomy between the importance of chemistry for society and the potential environmental issues it may cause. Thus, the students have addressed the complex situation of the problem of plastics in society. On the one hand, plastics have helped to improve our health or sanitation. However, on the other hand, plastics are causing major environmental problems. The changes of opinion, which are considered to be revealing, did not result in any statistically significant differences in the sample analyzed.

• **Research question k): What are students' perceptions of the role-play and their understanding of plastics before and after the activity?**

Students gave the activity 8.4 points out of 10, which is considered to be very positive.

The majority of students (54.5%) considered the staging of the role-playing to be the best aspect of the activity, with this being taken to mean the possibility to debate about plastics. Fewer students (22.7%) considered learning about the chemistry of plastics alone, or listening to arguments from other companions, to be the best aspect, whereas 47.4% stated that there was no unfavorable aspect of note. To a much lesser extent, students highlighted the inability to participate in the staging due to being an advisor (15.8%) and a lack of time for advisors (15.8%) or the group work (15.8%). This latter aspect was also given as a positive aspect, although to a slightly higher degree (18.2%), thus appearing to highlight the importance of the correct selection of group members by the teacher and a good distribution of the tasks as, in some cases, this may cause some disagreement and other significant advantages. It should be noted that the only chemistry-related aspect was among the positive evaluations given.

Students perceived to have learned about chemistry (70.4%) and science skills (29.6%), especially how to debate and argue about chemistry based on evidence.

With regard to chemistry, 37.0% of students noted aspects concerning the relationship between chemistry and society and the importance of single-use plastics as regards protecting us in the current health situation, or their effects on the economy. Furthermore, 25.9% alluded to the effects of chemistry on the environment, whereas 7.4% mentioned some properties or characteristics learned about plastics.

Finally, the students' perceptions suggest that role-playing promotes learning about aspects of chemistry such as the degradation of plastics and the importance of chemistry for society or contamination and the environment, indicating an enhanced understanding of chemistry.

• **Research question l): What kind of emotions appear in the students during the role-play?**

The emotions experienced during role-playing were valued very highly as all students tended to indicate positive emotions from each pair provided, with the most favorable option (very) of all these pairs being given percentages of between 37% and 53%. The emotions relaxed, calm, confident, glad, or satisfied obtained the highest percentages (close to 50%). These positive emotions experienced indicate that this activity enhanced the motivation and interest of students toward the problem of plastics.

The highest-rated positive emotion was relaxed (53%), and the negative emotion was worried (21%). It is probably indicative of the attitude of the two types of citizens we can find in society toward plastics: people with little concern (relaxed) or a lot of concern (worried).

The gamification elements associated with role-playing may be responsible for some of the emotions indicated: enthusiastic and happy due to the motivation of the game, suspicious due to its competitive drive, or worried about arguing and counter-arguing in public adequately as the main rule of the game.

Conclusions

In relation to general objective 1, we can conclude that at national level, educational research in the different educational levels does not sufficiently address the problem of plastic pollution, with problems such as the lack of collaboration between university and non-university levels of education or studies that are excessively focused on propaedeutic knowledge. This is a missed opportunity to raise public awareness of the problem and the search for solutions.

In relation to general objective 2, we can conclude:

First, that critical thinking can be developed as early as the second year of E.S.O., using the socio-scientific problem of plastics in the teaching of chemistry. This development of critical thinking is complex and allows students to come up with different explanations for the degradation processes that these substances undergo.

And secondly, that classroom work using role-playing as a teaching strategy led to a change in students' decisions about the use of single-use plastics, fostering their environmental awareness and mobilising critical opinions about this type of use. Although there were no overall significant differences in the changes of opinion in the samples analysed, it can be seen that role-playing can be a useful strategy for teaching chemistry and for mobilising emotions among students, contributing to the motivational aspects of science learning.

Final considerations, limitations of the research and future lines of research

The results obtained after the design and implementation of the Teaching-Learning Sequence on environmental pollution by plastics with secondary school students, highlight the importance of incorporating this type of experience in the curricula of science subjects for this educational stage. This type of activity will help to improve the critical thinking skills of our students, that is, to achieve citizens capable of analysing information, making decisions or creating arguments on issues related to their daily lives, with a scientific basis.

In terms of limitations, due to the limited number of teaching hours in the school and the fact that a single teacher cannot teach all levels of education at one stage, with a high number of students, the sample size used in this study may hinder the reproducibility of

Capítulo 5. Síntesis y conclusiones

the results with a larger number of participants. Nevertheless, the samples selected are adequate to investigate the potential of the activities presented here. On the other hand, the confinement situation due to the COVID-19 pandemic meant that the sequence had to be highly adapted to the virtual mode of teaching. This caused some imbalances and difficulties such as the lack of connection of some students or the lack of easy monitoring of the students. In turn, this situation has also provided unique results in the study.

Regarding future lines of research, we intend to continue with the implementation of this Teaching and Learning Sequence, as well as to carry it out with different educational levels than the one shown here. In addition, this Doctoral Thesis has generated a large volume of data that we will continue to analyse.

Capítulo 6. Referencias bibliográficas

Capítulo 6. Referencias bibliográficas

Capítulo 6. Referencias bibliográficas

- Anfuso, G., Bolívar, H. J., Asensio, F., Manzolli, R. P., Portz, L. & Daza, D. A. (2020). Beach litter distribution in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111657.
- Arandes, J. M., Bilbao, J. & López, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 28-45.
- Bailin, S. (2002). Critical thinking and science education. *Science & Education*, 11(4), 361- 375.
- Blanco, A., España E. & Franco-Mariscal, A. J. (2017). Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Ápice, Revista de Educación Científica*, 1(1), 107-115
- Blanco, A., España, E., Franco-Mariscal, A. J. & Rodríguez, F. (2018). Competencias y prácticas científicas en problemas de la vida diaria. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 92, 45-51.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A.D., García A., Pringle, R. M. & Palmer, T.M. (2015) Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 1(5), e1400253
- Cersonsky, R.K., Foster, L.L., Ahn, T., Hall, R.J., Van Der Laan, H.L. & Scott, T.F. (2017). Augmenting primary and secondary education with polymer science and engineering. *Journal of Chemical Education*, 94(11),1639-1646
- Cook, D. H. (2014). Conflicts in Chemistry: The Case of Plastics, A Role-Playing Game for High School Chemistry Students. *Journal of Chemical Education*, 91 (10), 1580– 1586
- Corraliza, J.A. & Collado, S. (2019). Conciencia ecológica y experiencia ambiental en la infancia. *Papeles del Psicólogo*, 40(3), 190-196
- Cruz, I. M, Acebal, M. C, Cebrián, D. & Blanco, A. (2020). El juego de rol como estrategia didáctica para el Desarrollo de la conciencia Ambiental. Una investigación basada en el diseño. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad*, 2(1), 1302.
- Darmaji, D, Kurniawan, D.A., Astalini, A., Perdana, R., Kuswanto, K. & Ikhlas, M. (2020). Do a science process skills affect on critical thinking in science? Differences in urban and rural. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 9(4), 874-880.

Capítulo 6. Referencias bibliográficas

- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2016). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *Efsa Journal*, 14(6), e04501.
- Elías, R. (2015). Mar del plástico: una revisión del plástico en el mar. *Marine & Fishery Sciences*, 27, 83-105.
- Ennis, R. H. (1987). A taxonomy of critical thinking dispositions and abilities. En J. B. Baron, & R. J. Sternberg (Eds.), *Teaching Thinking Skills*, 9-26. New York: Freeman and Company.
- Eriksen, M., Maximenko, N. & Thiel, M. (2013). Plastic pollution in the world's oceans: More than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLOS ONE*, 9(12).
- España, E. & Prieto, T. (2009). Educar para la sostenibilidad: el contexto de los problemas socio-científicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 345-354.
- Fernández, Y. (2008). ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales? Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. *Espiral*, 15(43), 179-202.
- Franco-Mariscal, A. J. (2014). Un estudio exploratorio de una experiencia medioambiental: la escalera del instituto, un espacio para la educación ambiental. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 35, 13-37.
- Furió, C., Vilches, A., Guisasola, J. & Romo, V. (2001). Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la Secundaria obligatoria. ¿Alfabetización científica o preparación propedéutica? *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 365-376
- Gil, C. G. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, 140, 107-118.
- Gómez, I. (2020). *Desarrollo sostenible*. Editorial Elearning, SL.
- Hierrezuelo, J. M., Franco-Mariscal, A. J. & Blanco, A. (2022). Uso de dilemas socio-científicos para el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en docentes en formación inicial. Percepciones del profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 36(97), 99-122
- Jaén, M., Esteve, P. & Banos, I. (2019). Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1501.
- Jaén, M. & Palop, E. (2011). ¿Qué piensan y cómo dicen que actúan los alumnos y profesores de un centro de educación secundaria sobre la gestión del agua, energía y los residuos? *Enseñanza de las Ciencias*, 29(1), 61-74.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2007). *Argumentation in science education: An overview*. In *Argumentation in science education*; Jiménez-Aleixandre, M. P.; Erduran, S., Eds.; Springer: New York, pp. 3 –27.

Capítulo 6. Referencias bibliográficas

- Koch, B.S. & Barber, M.M. (2019). Basuras marinas; impacto, actualidad y las acciones para mitigar sus consecuencias. *Revista de Marina*, 968, 30-39.
- Lipman, M. (1997). *Pensamiento complejo y educación*. Madrid: Ediciones de la Torre.
- López-Fernández, M. M., González-García, F. & Franco-Mariscal, A. J. (2022). Plásticos: revisión bibliográfica en Didáctica de las Ciencias Experimentales (2010-2019). *Revista de Educación*, 397, 261-292.
- López, R. (1998). El Desarrollo Sostenible: ¿una utopía o una urgente necesidad? *Revista Complutense de Educación*, 9(2), 257-274.
- López-Fernández, M. M., González-García, F. & Franco-Mariscal, A. J. (2021). Should We Ban Single-Use Plastics? A Role-Playing Game to Argue and Make Decisions in a Grade-8 School Chemistry Class. *Journal of Chemical Education*, 98(12), 3947-3956.
- Lotter, C., Smiley, W., Thompson, S. & Dickenson, T. (2016). The impact of a professional development model on middle school science teachers' efficacy and implementation of inquiry. *International Journal of Science Education*, 38(18), 2712-2741.
- Lusher, A., Hollman, P. & Mendoza, J. (2017). *Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety*. United Kingdom: FAO.
- Marcén, C. & Molina, P.J. (2006). *La persistencia de las opiniones de los escolares sobre el Medio Ambiente*. Una particular visión retrospectiva desde 1980 a 2005. Madrid: MMA.
- Martínez, R. (2010). La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual. *Revista Electrónica Educare*, 14(1), 97-111.
- MEC, Ministerio de Educación y Ciencia (2015). *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. BOE núm. 3, de 3 de enero de 2015.
- Miller, D. M. & Czegan, D.A. (2016). Integrating the liberal arts and chemistry: A series of general chemistry assignments to develop science literacy. *Journal of Chemical Education*, 93(5), 864-869
- Montoya, J. I. (2010). Guía metodológica para el fomento de las competencias ciudadanas en la básica secundaria a partir del pensamiento crítico. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (29), 8-32.
- Mora, W. M. (2009). Educación ambiental y educación para el desarrollo sostenible ante la crisis planetaria: demandas a los procesos formativos del profesorado. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 26, 7-35.
- Nidia, S., Marsuki, M. F. & Eilks, I. (2021). Palm-Oil-Based Biodiesel in Indonesia: A case Study on a Socioscientific Issue That Engages Students to Learn Chemistry and Its Impact on Society. *Journal of Chemical Education*, 98(8), 2536-2548.

Capítulo 6. Referencias bibliográficas

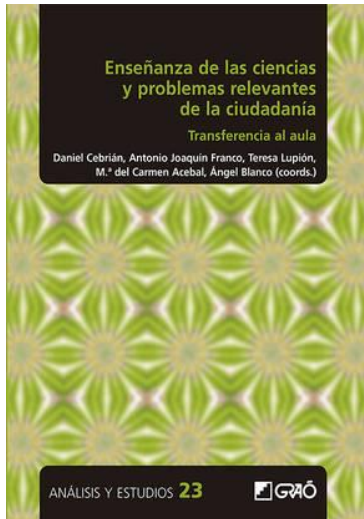
- Nieto, A. M. & Saiz, C. (2008). Relación entre las habilidades y las disposiciones del pensamiento crítico. *Motivación y emoción: Contribuciones actuales*, 2, 255-263.
- Osborne, J. (2014). Teaching critical thinking. New directions in science education? *School Science Review*, 352, 53-62.
- Patronis, T., Potari, D. & Spiliotopoulou, V. (1999). Students' argumentation in decision making on a socio-scientific issue: Implication for teaching. *International Journal of Science Education*, 21, 745-754.
- Pedrinaci, E., Caamaño, A., Cañal, P. & Pro, A. (2012). *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Barcelona: Graó
- Prieto, F. H. (2018). El pensamiento crítico y autoconocimiento. *Revista de filosofía*, 74, 173-191.
- Ramírez, F. N. (2021) Pensamiento crítico y videojuegos en estudiantes de educación básica secundaria. *Revista Academia y virtualidad*, 14(2), 45-56
- Ramos, A. & Torralba, A. (2020). Uso y potencial del Programa LIFE para la Educación Ambiental en educación formal, no-formal e informal, y especialmente en Educación Primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 3501.
- Rodríguez, F. & Blanco, A. (2009). Conocimientos, hábitos, actitudes y creencias de estudiantes de magisterio sobre el consumo de aguas de bebidas envasadas. *Enseñanza de las Ciencias*, (extra), 1877-1881.
- Ruiz, A. (2008) *Educación, Medio Ambiente y Didáctica del Entorno: Teoría y Prácticas*. Madrid: Popular.
- Santiuste, B. (Coord.), Ayala, C., Barriguete, C., García, E., Gonzales, J., Rossignoli, J. & Toledo, E. (2001). *El pensamiento crítico en la práctica educativa*. Fugaz.
- Skamp, K., Boyes, E. & Stanisstreet, M. (2013). Beliefs and willingness to act about global warming: Where to focus science pedagogy? *Science Education*, 97(2), 191-217.
- Smith, M., Love, D., Rochman, C. & Neff, R. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3), 375-386.
- Solbes, J. (2013). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(1), 1-10.
- Tenreiro-Vieira, C. & Marques-Vieira, R. (2006). Diseño y validación de actividades de laboratorio para promover el pensamiento crítico de los alumnos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 452-466.

Capítulo 6. Referencias bibliográficas

- Teuten, E. L. et al. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2027-2045.
- Vieira, R. M. & Tenreiro, C. (2016). Fostering scientific literacy and critical thinking in elementary science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14, 659-680.
- Zohar, A. & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35-62.

Capítulo 7. Anexos

Anexo 1. Contribución complementaria a la Tesis Doctoral 1



Tipo de publicación	Capítulo de libro
Título del capítulo	Desarrollo de prácticas científicas en una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre la contaminación por plásticos en educación secundaria obligatoria
Autores	María del Mar López Fernández, Francisco González García y Antonio Joaquín Franco-Mariscal
Año	2021
Libro	Enseñanza de las ciencias y problemas relevantes de la ciudadanía
Coordinador es	D. Cebrián, A. J. Franco-Mariscal, T. Lupión, M. C. Acebal, y A. Blanco
Editorial	Graó
Lugar de edición	Barcelona, España
Páginas	51-64
ISBN	978-84-18058-95-0
Enlace	https://www.grao.com/es/producto/ensenanza-de-las-ciencias-y-problemas-relevantes-de-la-ciudadania-aye23
Idioma del libro	Castellano
Indicadores de calidad	Base de datos: Scholarly Publishers Indicators in Humanities and Social Sciences (SPI) (2018) <ul style="list-style-type: none">• Categoría: Educación. Cuartil: Q1. Posición: 2. ICEE: 137.• Categoría: Editoriales Españolas. Cuartil: Q1. Posición: 33. ICEE: 151.

Resumen

Este capítulo presenta una secuencia de enseñanza-aprendizaje centrada en los plásticos y su contaminación para la etapa de educación secundaria obligatoria que ha tenido en cuenta en su diseño los intereses del alumnado y que pretende mejorar su concienciación ambiental. La secuencia incluye una actividad inicial donde los estudiantes reciben información sobre la composición de los plásticos y sus propiedades físicoquímicas. Luego, se trabajan diferentes actividades que permiten desarrollar habilidades asociadas a las prácticas científicas de indagación y argumentación, como la búsqueda de información y recopilación de diferentes plásticos y su comunicación; el diseño y desarrollo de experimentos sobre la degradación de plásticos por el hombre; la emisión de hipótesis, toma de datos y establecimiento de conclusiones en la degradación natural de materiales, o la defensa de un papel con argumentos y contraargumentos en un juego de rol sobre los plásticos de un solo uso. La secuencia se completa con la realización de un audiocuento sobre los plásticos como actividad de síntesis. Finalmente, se presentan diferentes instrumentos para valorar el aprendizaje de los estudiantes, sus percepciones y emociones sentidas.

1. Importancia de los plásticos y su contaminación en el tratamiento de la educación ambiental en educación secundaria

La educación ambiental forma parte de los elementos transversales de nuestro sistema educativo, en el cual deben incorporarse elementos curriculares relacionados con aspectos como el desarrollo sostenible y el medioambiente. Es también uno de los objetivos de la etapa de educación secundaria, recogido como «valorar críticamente los hábitos sociales relacionados con la salud, el consumo, el cuidado de los seres vivos y el medioambiente, contribuyendo a su conservación y mejora» (MEC, 2015). En definitiva, la educación ambiental debe estar dirigida a adquirir conocimientos científicos ambientales y, además, a formar valores, actitudes y normas de actuación ecológicamente favorables. Incorporar la educación ambiental al proceso de enseñanza y aprendizaje de nuestros jóvenes, los ciudadanos del futuro, podrá evitar el deterioro del planeta (Franco Mariscal, 2014).

Sin duda, uno de los problemas medioambientales de la actualidad son los plásticos y su contaminación. Las estimaciones apuntan a que unos ocho millones de toneladas métricas de plásticos llegan cada año a los océanos, dando lugar a los 5,25 billones de fragmentos plásticos que se encuentran actualmente solo en la superficie de los océanos. El primer efecto directo de estos es el ahogo, la asfixia, el enredo o el desgarrar de la fauna y flora marina (Smith y otros, 2018).

Las consecuencias de los plásticos no solo recaen sobre el medioambiente. A estos, durante su producción, se les añaden aditivos químicos para proporcionarles propiedades diversas. Cuando fuerzas de la naturaleza como la luz solar o la acción de las olas comienzan a degradarlos, se van fragmentando en pequeños trozos, los microplásticos, los cuales entran en las cadenas tróficas hasta ser incorporados en la biomasa marina, incluyendo seres vivos que forman parte de nuestra alimentación y se lixivian los aditivos químicos (Smith y otros, 2018). Varias investigaciones han demostrado la capacidad de los microplásticos de incorporarse a todos los órganos, con las consecuencias sanitarias que conlleva, y la capacidad de bioacumulación de los productos químicos lixiviados (Teuten y otros, 2009).

Las vías de entrada de los microplásticos en el cuerpo humano son varias, siendo la más evidente a través del consumo de organismos filtradores como los mariscos, pero también con el consumo de cualquier otro animal debido a la transferencia trófica. Existen también otras vías como el consumo de agua y sal, o de alimentos que los contengan, la propia atmósfera o las impurezas en los envases (Smith y otros, 2018).

A pesar del gran impacto de los plásticos sobre el medioambiente y nuestra salud, un estudio previo realizado (López Fernández, González García y Franco Mariscal, 2021) sobre los conocimientos que posee el alumnado del primer ciclo de educación secundaria reveló la existencia de dificultades de aprendizaje en este tema. En particular, el origen de la contaminación por plásticos, el entendimiento del concepto de microplástico o la presencia de estos en el estómago humano; problemas que no mejoran al avanzar en los cursos de secundaria.

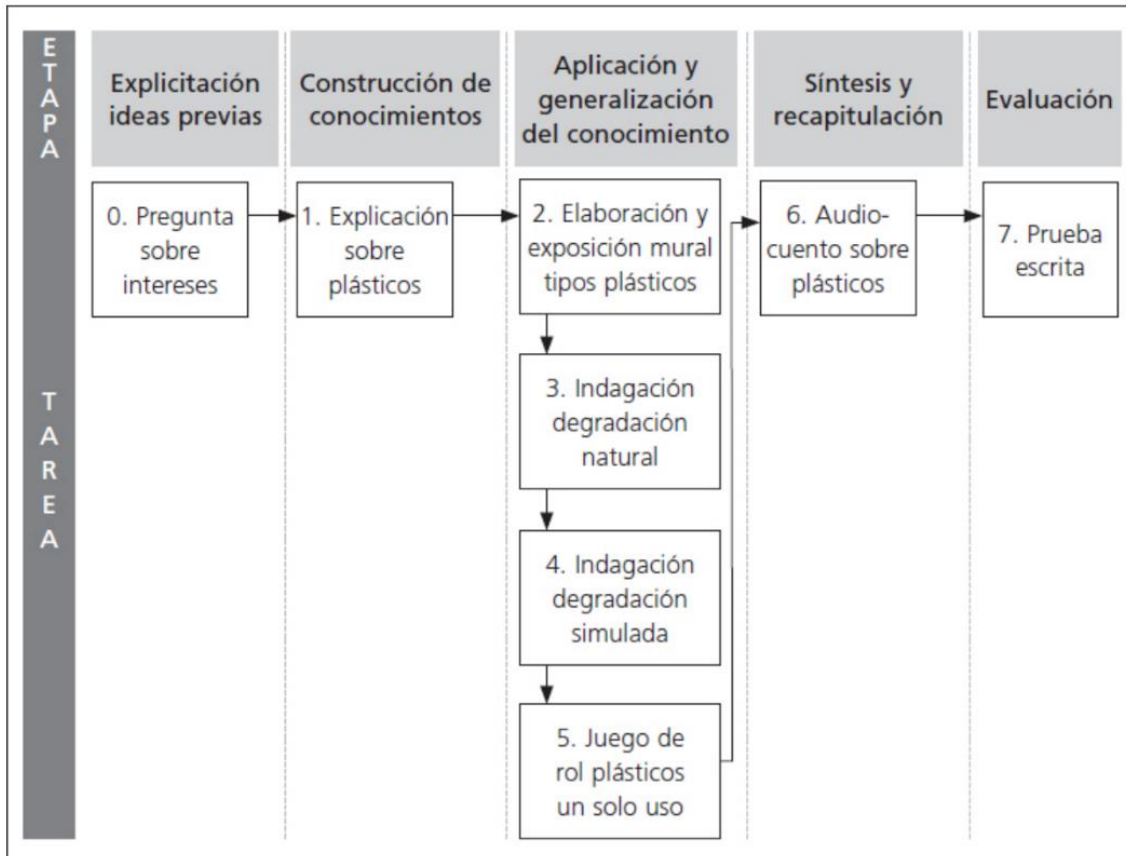
Desde los centros educativos, cada vez más concienciados en la necesidad de crear estrategias educativas para trabajar este tema en el aula, se han realizado diferentes programas o experiencias de educación ambiental. Entre ellos destaca el programa Ecoescuelas (Junta de Andalucía, 2019) que pretende hacer de los centros educativos un proyecto coherente con los principios de la educación ambiental, además de sensibilizar, formar y educar sobre la importancia del desarrollo sostenible, haciendo a los individuos más participativos y conscientes, a través de la mejora de la gestión ambiental de los centros. Otros ejemplos son la experiencia de Franco Mariscal (2014) en un instituto de secundaria para sensibilizar y concienciar a la comunidad educativa sobre la gravedad de los problemas ambientales y la importancia de generar actitudes y comportamientos no contaminantes, ahorradores de energía y respetuosos con el medioambiente; o la propuesta de Vázquez (2012) en torno a nuevas formas de abordar la educación ambiental desde proyectos interdisciplinarios, involucrando a toda la comunidad educativa para generar actitudes y comportamientos ecosostenibles en su entorno.

Si bien es cierto que estas experiencias se van extendiendo cada vez más en el ámbito educativo, las propuestas sobre los plásticos y su contaminación ambiental siguen siendo aún escasas en la etapa de secundaria y en la formación inicial del profesorado. En este último caso, destaca el trabajo de Torres (2019), quien realizó una secuencia para estudiantes de 1.º de ESO con el objetivo de describir las posibles trayectorias que siguen los residuos plásticos en el Golfo de Cádiz, mediante el lanzamiento de botellas con mensajes y con colaboración ciudadana. Otro ejemplo es la experiencia de Juárez y otros (2019) con maestros en formación, que introduce la argumentación científica con un juego de rol sobre el uso de plásticos en un futuro cercano. Por estos motivos, este trabajo presenta una secuencia de enseñanza-aprendizaje (en adelante SEA) sobre los plásticos y su contaminación, con el objetivo de favorecer el aprendizaje y fomentar actitudes ante el problema en cuestión, motivar y generar interés por las ciencias y por el medioambiente.

2. Secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre los plásticos y su contaminación

2.1. Descripción de la SEA

La SEA se ha diseñado para estudiantes del primer ciclo de la ESO (12-14 años) de asignaturas de ciencias e incluye un total de ocho tareas que se desarrollan de forma transversal durante un trimestre, lo que permite concienciar y sensibilizar al alumnado a largo plazo. Esta SEA trabaja contenidos recogidos en el currículo, como factores desencadenantes de desequilibrios en los ecosistemas en biología y geología de 1.º de ESO; la química en la sociedad y el medioambiente para física y química de 2.º ESO; la especie humana como agente geológico en biología y geología de 3.º de ESO, y otros contenidos comunes a todas las asignaturas de ciencias como la metodología científica o los proyectos de investigación (MECD, 2015). Esta SEA se ha implementado con éxito con 140 estudiantes de 1º, 2º y 3º de E.S.O. del C.D.P. Gibraltair de Málaga.



Cuadro 1. Tareas de la SEA en cada una de las etapas

El cuadro 1 muestra las tareas incluidas en la SEA en cada una de las etapas del proceso de enseñanza-aprendizaje: explicitación de ideas previas, construcción de conocimientos, aplicación y generalización del conocimiento, síntesis y recapitulación y evaluación.

2.2. Descripción de las tareas

Este apartado describe las distintas tareas planteadas, mostrando su objetivo, la práctica científica asociada y alguna producción de los estudiantes.

Tarea 0. Intereses del alumnado

Su objetivo es conocer los intereses del alumnado acerca de los plásticos y su contaminación, a través de la pregunta abierta: «Escribe qué te gustaría saber sobre los plásticos en relación con la contaminación», que los estudiantes responden por escrito. Algunos de los intereses mostrados ante el tema se ilustran en la imagen 1.

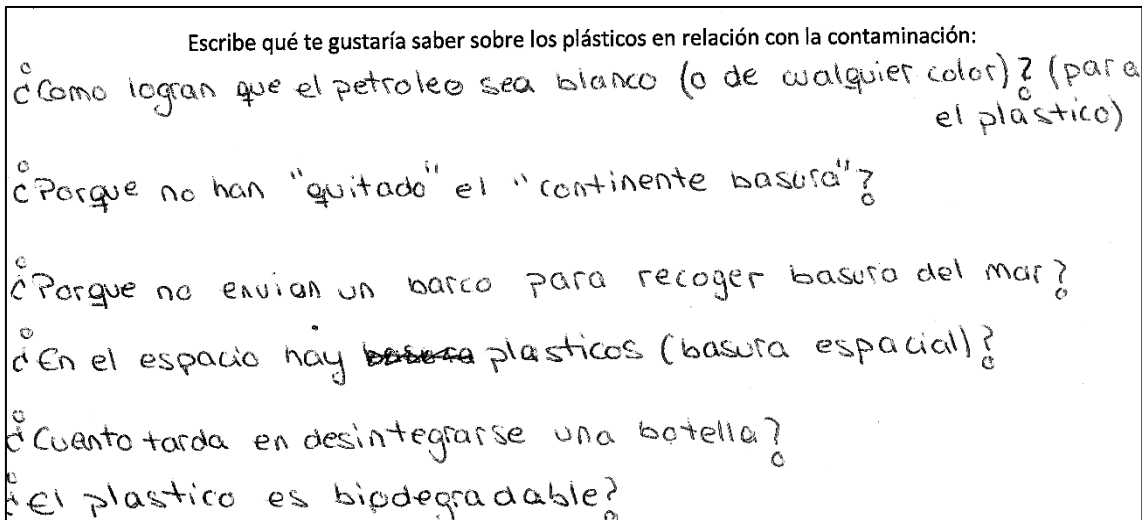
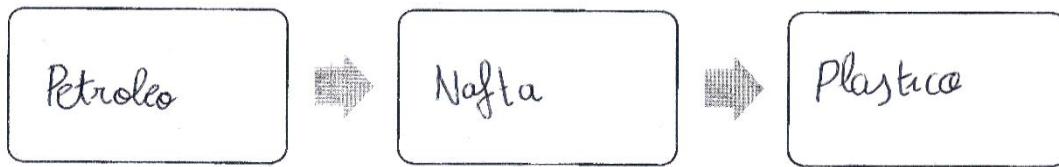


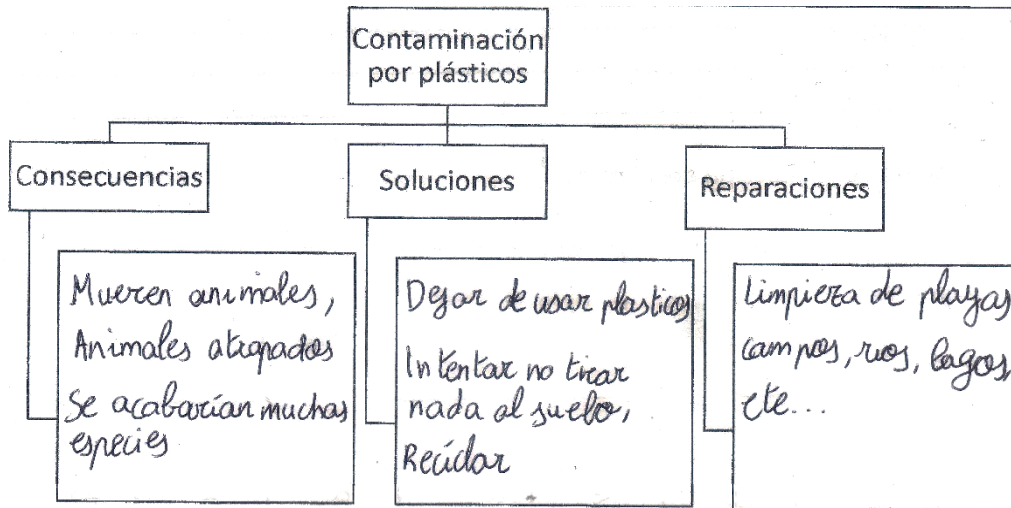
Imagen 1. Intereses de un estudiante sobre los plásticos y su contaminación

Proceso de producción del plástico:



Tipos de plásticos	Aplicaciones	¿Reciclable?
1. PET	Fabricación de botellas	Si
2. HDPE	Fabricación de envases	Si
3. PVC	Tubería	No
4. LDPE	Envases resistentes	No
5. PP	Pajitas	Si
6. PS	Cercho blanco	No
7. Otros	Plástico biodegradable	No

Proceso de degradación del plástico:



¿Por qué crees que se sigue produciendo plástico a pesar de lo que contamina?

Porque es mucho dinero que dejarían de ganar los empresarios

Imagen 2. Esquema cumplimentado por un estudiante en la tarea 2

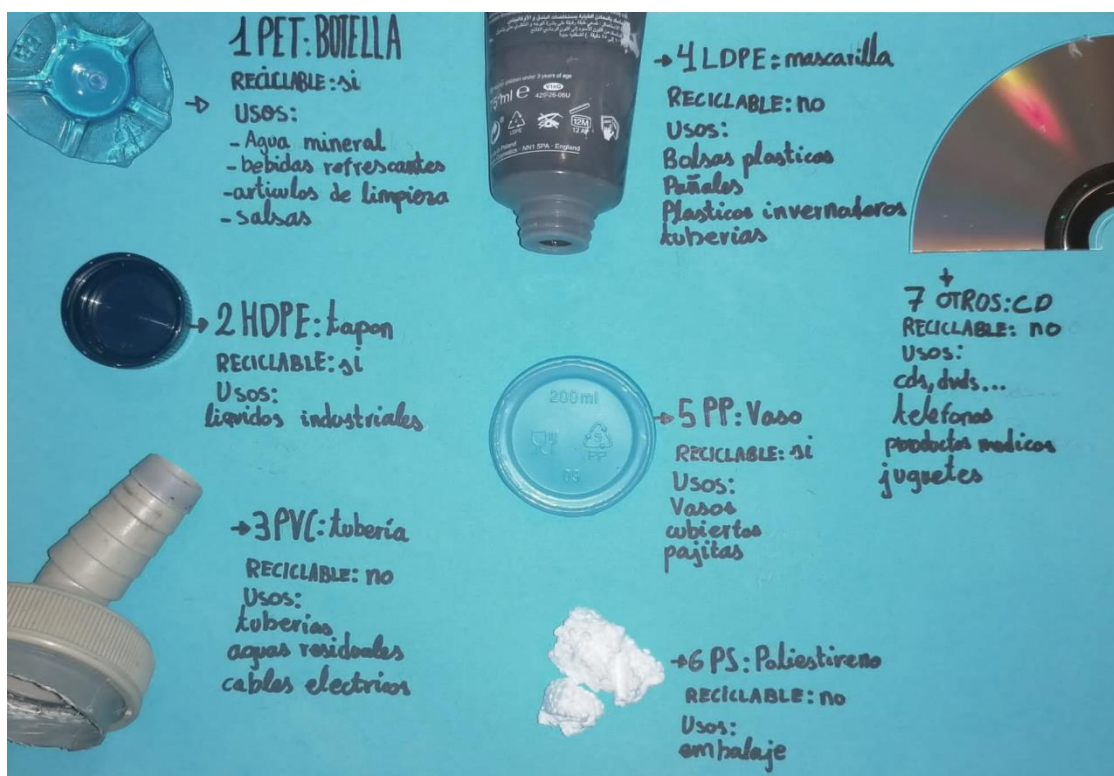


Imagen 3. Mural con los distintos tipos de plásticos, características y aplicaciones

Tarea 1. Explicación de las propiedades, aplicaciones y tipos de plásticos

El objetivo de esta tarea es introducir al alumnado en el problema actual sobre los plásticos y su contaminación, así como darles nociones básicas sobre aspectos como las propiedades físicoquímicas de los mismos, sus aplicaciones, los diferentes tipos existentes, su degradación y consecuencias, y posibles soluciones medioambientales. Durante la explicación, los estudiantes deben cumplimentar un esquema con las ideas más importantes (imagen 2). Luego, se realiza un debate en torno a la cuestión: «¿Por qué crees que se sigue produciendo plástico a pesar de lo que contamina?», lo que permite trabajar la práctica científica de argumentación.

Tarea 2. Recopilación y exposición de plásticos de diferentes tipos

Esta tarea consiste en recopilar un fragmento de cada uno de los siete tipos de plásticos existentes y realizar con ellos un mural donde se expliquen sus características, propiedades físico-químicas y aplicaciones (imagen 3). Posteriormente, los estudiantes deben exponer oralmente su mural al resto de la clase. Esta tarea trabaja la búsqueda de información como competencia importante en la práctica científica de indagación.



Imagen 4. Observación periódica de distintos materiales realizada por estudiantes de 1º de E.S.O.

Tarea 3. Indagación sobre la degradación de materiales producida por la naturaleza

El alumnado debe observar el efecto que los agentes ambientales ejercen sobre cuatro materiales (plástico transparente, plástico de color, papel y cartón) del mismo tamaño expuestos al aire libre a lo largo de un trimestre (imagen 4). Para ello, debe emitir hipótesis, realizar observaciones, registrar datos de forma periódica sobre el tiempo atmosférico y los cambios producidos (imagen 5), elaborar gráficas y establecer conclusiones. Esta tarea trabaja un ciclo completo de indagación.

Tarea 4. Indagación sobre la degradación de plásticos producida por el hombre

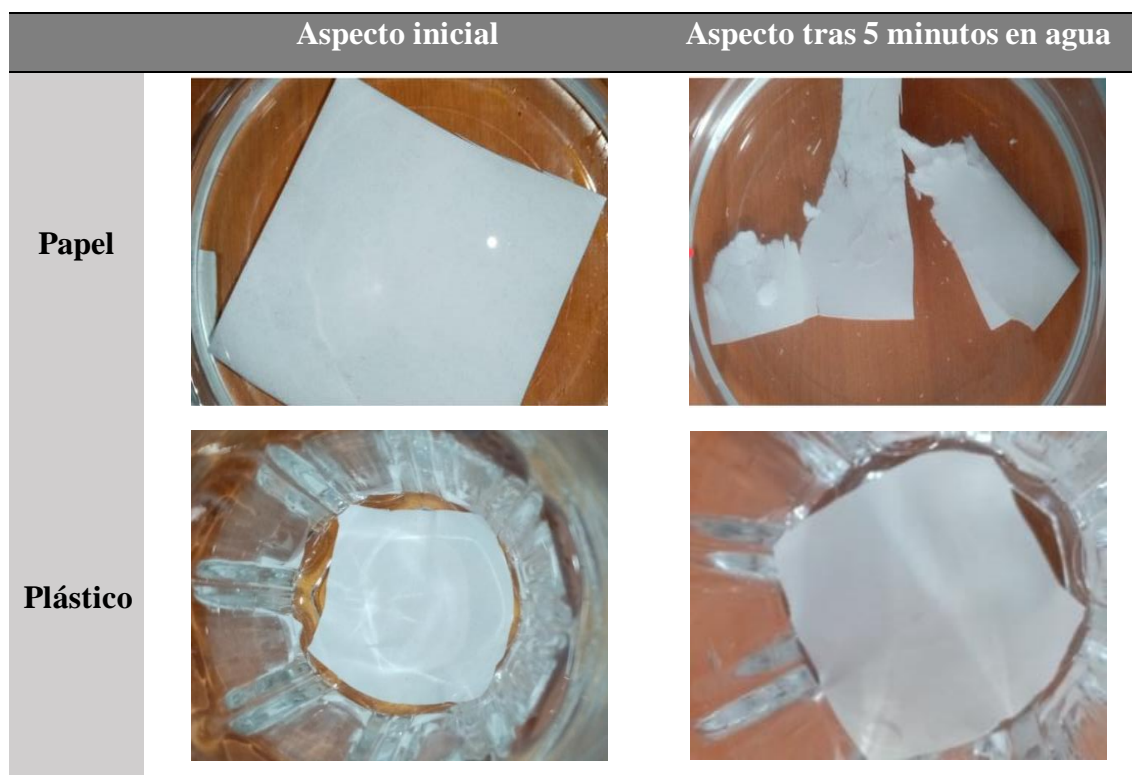
En esta tarea, centrada en la indagación, los estudiantes deben emitir hipótesis sobre qué les ocurrirá a cuatro materiales (un tapón de plástico, un fragmento de bolsa de plástico, un trozo de papel y otro de cartón) si intentan destruirlos con sólidos y líquidos. Posteriormente, deben diseñar y llevar a la práctica experiencias para degradar estos materiales. El cuadro 2 muestra, a modo de ejemplo, el resultado que obtuvo un estudiante cuando introdujo un trozo de papel y otro de plástico en un cuenco con agua durante cinco minutos. Tras realizar los experimentos, los estudiantes deben elaborar una memoria incluyendo los objetivos de la indagación, las hipótesis, los materiales y herramientas, la metodología empleada, los resultados obtenidos, sus conclusiones al respecto y la bibliografía utilizada. Esta tarea trabaja las prácticas científicas de indagación y argumentación escrita.

Fecha	Clima	Tª	Material	Pérdida de color	Cambio de forma	Aparición de grietas	Pérdida material	Aparición manchas	Separación de fibras	Olor	Otros
11/3/2020	Soleado	20º grados	Papel	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	
			Cartón	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	Tiene una mancha
			Plástico verde	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
			Plástico	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	

Imagen 5. Ejemplo de datos registrados por los estudiantes durante la cuarta semana para distintos materiales expuestos al aire libre

Tarea 5. Juego de rol sobre plásticos de un solo uso

Esta tarea tiene como objetivo realizar un vídeo para el canal de YouTube de la Unión Europea que muestre un debate entre estudiantes de secundaria sobre la nueva normativa para la prohibición de los plásticos de un solo uso. La actividad es una adaptación para educación secundaria del juego de rol sobre la misma temática propuesto por Juárez y otros (2019) para maestros en formación inicial.



Cuadro 2. Resultados antes y después de introducir un trozo de papel y un trozo de una bolsa de plástico en agua durante cinco minutos

Los estudiantes representan diferentes roles de personas implicadas en el problema y deben defender su postura con argumentos razonados. En su desarrollo, intervienen

diferentes roles a favor (un adolescente, un productor de materiales biodegradables, un pescador y un científico ambiental) y en contra del problema (un adolescente, el propietario de una empresa petrolífera, un trabajador en una fábrica de cubiertos desechables y el director de una fábrica de productos sanitarios desechables), moderados por dos presentadores que establecen finalmente quién ha ganado el debate. La tarea consta de dos partes. En la primera, se reparten los roles entre el alumnado y buscan en diferentes fuentes de información, argumentos a favor de cada rol y posibles argumentos débiles del resto de personajes. La segunda parte consiste en la escenificación del juego de rol, donde cada estudiante debe defender su rol de forma argumentada. La tarea permite trabajar diferentes competencias relacionadas con la argumentación oral y escrita, como la presentación e identificación de pruebas, justificaciones y conclusiones, o la elaboración de argumentos y contraargumentos completos.

Tarea 6. Audiocuento sobre los plásticos

Para sintetizar lo aprendido en la SEA, los estudiantes deben diseñar y grabar un audiocuento original de cinco minutos de duración donde el protagonista de la historia sea un fragmento de plástico. La trama se debe desarrollar en tres escenas diferentes, debiendo aparecer tres personajes como mínimo.

3. Evaluación

La evaluación de la SEA se plantea con la realización de una prueba escrita. Adicionalmente, se presenta una ficha de valoración de las tareas que puede ser útil al profesorado para conocer la evolución del aprendizaje en la SEA y la eficacia de las tareas, y otra ficha para valorar las emociones mostradas por los estudiantes. Por último, se propone un cuestionario para valorar la SEA en su conjunto.

3.1. Prueba escrita

Esta prueba incluye diferentes cuestiones de naturaleza cerrada y abierta sobre aspectos de los plásticos y la contaminación medioambiental que producen (imágenes 6 y 7, en las páginas siguientes). Si el docente desea conocer la evolución del aprendizaje de su alumnado durante la SEA, se recomienda utilizar este mismo cuestionario al inicio de la misma.

Señala la respuesta correcta a las siguientes preguntas		
¿De dónde crees que viene el plástico? <input type="radio"/> El plástico se extrae directamente de la naturaleza	<input checked="" type="radio"/> Es un derivado del petróleo	<input type="radio"/> Lo producen los animales y vegetales vivos
¿Crees que todos los plásticos son iguales? <input checked="" type="radio"/> No, hay diferentes tipos	<input type="radio"/> Sí, todos son iguales	<input type="radio"/> No lo sé
¿Todos los plásticos pueden reutilizarse y reciclarse? <input type="radio"/> Sí, pero no todo el mundo los recicla	<input type="radio"/> Sí, por eso todos los plásticos se reciclan	<input checked="" type="radio"/> No, algunos sí, otros no
¿Todos los plásticos pueden utilizarse para fabricar botellas de agua? <input checked="" type="radio"/> No, porque algunos son difíciles de extraer	<input type="radio"/> No, porque algunos pueden ser tóxicos	<input type="radio"/> Sí, porque los plásticos son moldeables
La contaminación por plásticos es debido... <input checked="" type="radio"/> solo a la gran cantidad de plásticos	<input type="radio"/> a su escasa capacidad de degradación, junto a otros factores	<input type="radio"/> a su poca utilidad
¿Qué son los plásticos de un solo uso? <input type="radio"/> Los plásticos que las personas usan una vez y los tiran	<input checked="" type="radio"/> Los plásticos que solo pueden usarse una vez	<input type="radio"/> Todos, ya que no debemos de reutilizarlos.
¿Cómo se forman los microplásticos? <input checked="" type="radio"/> A partir del petróleo, para utilizarlos en cosas muy pequeñas	<input type="radio"/> El medio ambiente crea fragmentos muy pequeños a partir de un plástico más grande	<input type="radio"/> En las plantas de reciclaje, como paso previo para elaborar un plástico.
La degradación del plástico... <input checked="" type="radio"/> Es muy lenta, con el tiempo apenas cambian sus características	<input type="radio"/> Es lenta, en unas semanas está degradado	<input type="radio"/> Se degrada muy rápido, en unas horas.
La contaminación por plásticos afecta... <input type="radio"/> Solo a los océanos	<input type="radio"/> Solo a los seres vivos	<input checked="" type="radio"/> Al planeta Tierra al completo
Los plásticos que se encuentran en el mar pueden estar... <input type="radio"/> Poco tiempo, porque se degradan fácilmente	<input type="radio"/> Solo en la superficie	<input checked="" type="radio"/> Hasta miles de metros de profundidad
¿Crees que en tu estómago podrías tener algún trocito de plástico? <input type="radio"/> No, no lo creo	<input checked="" type="radio"/> Puede que en un alto porcentaje de la población	<input type="radio"/> Sí, todos tenemos
En la lucha contra la contaminación por plásticos, en 2021 se va a limitar el uso de plásticos de un solo uso. ¿Crees que medidas como estas son suficientes? <input type="radio"/> No, se necesitan más acciones	<input type="radio"/> Sí, por algo hay que empezar	<input checked="" type="radio"/> Sí, medidas como estas son suficientes

Imagen 6. Ejemplo de respuestas de un estudiante a las preguntas cerradas de la prueba

¿Te gustaría que se eliminasen los plásticos? ¿Por qué?
Si me gustaría. Para no dañar al planeta.

¿Qué consecuencias crees que puede tener la contaminación por plásticos para los seres vivos?
Consecuencias muy malas, como animales que no sepan distinguir el plástico con alimentos.

Escribe algunas medidas que tú puedes hacer para reducir la contaminación por plásticos
no tirar plástico al mar, comprar menos plástico...

Escribe algunas medidas para solucionar los ecosistemas contaminados por plásticos
Algunas medidas para solucionar es no abusar de el plástico, -

¿Por qué crees que no recogen el plástico que hay en las playas y mares?
Creo que es para no hacerles daño a los animales.

¿Por qué crees que se sigue produciendo plástico a pesar de lo que contamina?
No se pero es una causa muy importante que deberían quitarlo y no seguir haciendo una cosa perjudicial para el planeta.

¿Por qué sigues usando plásticos a pesar de lo que contamina?
Porque casi todo esta formado por plástico.

Imagen 7. Ejemplo de respuestas de un estudiante a las preguntas abiertas de la prueba

3.2.3. Ficha de valoración de las tareas

Con idea de que los estudiantes puedan realizar una valoración de cada una de las tareas se recomienda emplear el cuestionario propuesto por Franco Mariscal, Franco Mariscal y

Salas García (2017) (imagen 8). Este cuestionario permite obtener información acerca de lo que cada estudiante considera que ha aprendido antes y después de realizar la tarea, los aspectos mejor y peor apreciados de la misma, una valoración general de la tarea en una escala de diez puntos y su opinión en torno a la sencillez, utilidad, atractivo e interés de la tarea.

3.3. Ficha de valoración de las emociones

Para conocer las emociones sentidas por el alumnado durante cada tarea y poder hacer un seguimiento de las mismas a lo largo de la SEA, se propone emplear el cuestionario de Gil y Martínez (2015) en el que los estudiantes deben elegir uno de los siete puntos de una escala diferencial semántica (muy, algo, bastante, indiferente, bastante, algo, muy), en cuyos extremos se encuentran diez emociones placenteras y sus homólogas no placenteras, respectivamente.

He aprendido....
 Como evolucionan los materiales dependiendo de los factores de la temperatura...etc.

Lo mejor:
 Bajar al huerto a tomar datos

Lo peor:
 Tener que apuntar los

Puntúa la actividad: 8

Señala con una x tus conocimientos antes de la actividad:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Señala con una x tus conocimientos después de la actividad:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Valora la actividad para cada una de las cualidades

	Muy poco	Poco	Algo	Mucho
Sencillez		X		
Utilidad			X	
Atractivo				X
Interés				X

Imagen 8. Ejemplo de respuestas en la ficha de valoración de la tarea de indagación sobre la degradación producida por la naturaleza.

3.4. Cuestionario de valoración de la SEA

Finalmente, para obtener una valoración final de la SEA resulta útil el cuestionario de Blanco y Lupión (2015), que incluye diferentes preguntas, entre otras, relativas a la metodología empleada en el aula, el tema tratado o si le gustaría que la forma de trabajar de la SEA tuviese continuidad en el futuro.

4. Consideraciones finales

Esta SEA trata los plásticos y su contaminación como un problema de actualidad con efectos directos en el medioambiente y, en consecuencia, en la salud de la población, un tema que demanda la necesidad de concretar estrategias educativas de forma urgente.

La SEA permite trabajar con los estudiantes de secundaria distintas habilidades relacionadas con las prácticas científicas de argumentación e indagación a través de diferentes tareas que ayudan a mejorar actitudes y comportamientos medioambientalmente responsables y a crear una capacidad crítica ante actuaciones propias y de su entorno más cercano. En definitiva, se pone de manifiesto la adquisición de una concienciación ambiental por parte del alumnado desde la etapa de educación secundaria obligatoria. Además del plano medioambiental, las tareas propuestas pretenden promover el interés, la motivación y emociones positivas hacia el aprendizaje de las ciencias.

5. Referencias bibliográficas

BLANCO, A.; LUPIÓN, T. (2015): La competencia científica en las aulas. Nueve propuestas didácticas. Santiago de Compostela. Andavira Editora.

FRANCO MARISCAL, A.J. (2014): «Un estudio exploratorio de una experiencia medioambiental: la escalera del instituto, un espacio para la educación ambiental». *Tecné, Episteme y Didaxis*, vol. 35, pp. 13-37.

FRANCO MARISCAL, A.J.; FRANCO MARISCAL, R.; SALAS GARCÍA, G. (2017): «El tren orbital: un juego educativo basado en una analogía para aprender la configuración electrónica en secundaria». *Revista Eletrônica Ludus Scientiae*, vol. 1(2), pp. 1-13.

GIL, P.; MARTÍNEZ, M. (2015): «Emociones auto-percibidas en las clases de educación física en primaria». *Universitas Psychologica*, vol.14(3), pp. 923-935.

JUÁREZ, P. y otros (2019): «El juego de rol como estrategia para enseñar a argumentar en ciencias: la visión de maestros en formación inicial». *Aula de Innovación Educativa*, vol. 287, pp. 15-20.

JUNTA DE ANDALUCÍA, CONSERJERÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y DESARROLLO SOSTENIBLE CONSERJERÍA DE EDUCACIÓN Y DEPORTE (2019): *Catálogo Aldea: Programa de Educación Ambiental para la Comunidad Educativa*, curso 2019/2020. Sevilla. Junta de Andalucía.

LÓPEZ-FERNÁNDEZ, M.M.; GONZÁLEZ-GARCÍA, F.; FRANCO-MARISCAL, A.J. (2021): «¿Qué ideas iniciales tienen los estudiantes de 1o de ESO sobre la contaminación medioambiental por plásticos?». Comunicación aceptada en 29 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Córdoba. Universidad de Córdoba/Ápice.

MECD (2015): Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Real Decreto «Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato». Boletín Oficial del Estado (3 enero 2015), núm. 3, pp. 169-546.

SMITH, M. y otros (2018): «Microplastics in seafood and the implications for human health». *Current Environmental Health Reports*, vol. 5(3), pp.375-386.

TEUTEN, E.L. y otros (2009): «Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife». *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364(1526), pp. 2027-2045.

TORRES, J.M. (2019): «Estudio de los flujos de dispersión de los residuos plásticos en el Golfo de Cádiz debido a las corrientes superficiales marinas: una propuesta de ciencia básica escolar para iniciar a los alumnos de 1o de ESO en la metodología científica». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 16(3), p. 3501.

VÁZQUEZ, E. (2012): «El tratamiento interdisciplinar de lo eco-sostenible en la enseñanza secundaria: un estudio de casos». *Profesorado, Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, vol. 16(2), pp. 165-192.

6. Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Proyecto de Innovación Educativa PIE19-139 «Educación STEAM en la formación de estudiantes universitarios», financiado por Universidad de Málaga.

Anexo 2. Contribución complementaria a la Tesis Doctoral 2

Tipo de publicación	Capítulo de libro publicado en Libro de Actas de Congreso Internacional
Título del capítulo	El audiocuento como recurso didáctico para abordar los plásticos y la contaminación en educación secundaria
Autores	María del Mar López Fernández y Antonio Joaquín Franco-Mariscal
Año	2021
Libro	Anais Encontró Nacional de Jogos e Atividades Lúdicas no Ensino de Química, Física e Biologia
Editores	Even3 - R. Sen. José Henrique, 231 – Sala 509- Ilha so Leite, Recife – PE
Editorial	Asociación de profesores de Universidades Federales de Brasil
Congreso	IV Encontró Nacional de Jogos e Atividades Lúdicas no Ensino de Química, Física e Biologia (JALEQUIM LEVEL IV).
Lugar de celebración	Rio de Janeiro. Brasil
Fecha de celebración	19 al 23 de abril de 2021
Páginas	1-10
ISBN	978-65-5941-328-7
DOI	10.29327/143768
Enlace	https://www.even3.com.br/anais/jalequimlevel4/
Idioma del libro	Portugués

Resumen

Los plásticos son los polímeros sintéticos más abundantes en el planeta, convirtiéndose en un problema medioambiental importante. Este trabajo presenta un estudio con 20 estudiantes de 13-14 años de un instituto de secundaria de Málaga (España), que utiliza la técnica de la narrativa a través de los audiocuentos para abordar el problema de los plásticos y su contaminación. En primer lugar, los estudiantes diseñaron un audiocuento completando una ficha con sus principales características (título, temática, escenas, personajes y moraleja) y luego grabaron el audiocuento con una duración de 5 minutos. Los resultados preliminares parecen mostrar que el audiocuento es un recurso didáctico útil en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, en este caso en particular en el problema de los plásticos y su contaminación medioambiental. Además, se convierte en una estrategia útil para desarrollar la imaginación y motivar a los estudiantes en el aula.

Palabras claves: *audiocuento, educación secundaria, plásticos*

1. Introducción

Los plásticos son los polímeros sintéticos más abundantes en el planeta. Forman parte de la vida cotidiana de las personas y si la disposición final de su vida útil es inadecuada, miles de ellos acaban depositados en las vías públicas y en los océanos. Esto se ha convertido en un problema que afecta al medio ambiente, a los animales y a nuestra salud (Florián y Franco, 2017).

Distintas organizaciones gubernamentales han tomado medidas para afrontar el reto de la química y la sostenibilidad. Algunas de ellas son la Iniciativa Global para el Cuidado Responsable del Consejo Internacional de Asociaciones Químicas, las conferencias sobre química sostenible de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) o las diversas leyes y convenios internacionales para la regulación de los productos o procesos químicos (Doria, 2009).

El término Green Chemistry, traducido como química verde o química sostenible, es uno de los conceptos más interesantes para lograr la sostenibilidad en la industria química (Doria, 2009; Maestres, 2013). Algunos autores la definen como “el uso de la química para la prevención de la contaminación o, más específicamente, el diseño de productos y diseños químicos benignos para el medio ambiente (Hjeresen, Boeses, Schutt, 2000). La química verde responde a la obligación ética de contribuir al desarrollo y bienestar de toda la población mundial, sin afectar al medio ambiente ni comprometer a las generaciones futuras. Esto no solamente es primordial para las personas y los ecosistemas, sino también para la propia industria química, la cual comienza a vislumbrar el agotamiento irreversible de sus fuentes de materias primas (Maestres, 2013).

Sin embargo, los problemas generados debido al frenético consumo de plástico en la sociedad actual tampoco nos deben dejar indiferentes. Educar en el consumo responsable es también necesario en el camino hacia una sociedad más comprometida con el problema. Para ello, debería promoverse una ética del consumo fundamentada en la necesidad de consumir. Para que los estudiantes puedan hacer frente al desafío de la sostenibilidad es necesario favorecer en ellos la percepción de los graves problemas socio-ambientales a los que nos enfrentamos y tratar de desarrollar la capacidad de tomar decisiones de una forma crítica dirigidas a alcanzar un futuro sostenible. En otras palabras, la educación juega un papel muy importante en este tema, y, por ello, los educadores debemos implicarnos en tareas de concienciación ciudadana que permitan afrontar las posibles amenazas para la vida en el planeta (Jaén, Esteve y Banos, 2019).

Las historias narrativas presentadas como cuentos y el mundo de la fantasía de los niños pueden ser buenos recursos educativos para llevar de una forma motivadora este problema al aula de secundaria en sus primeros cursos antes de comenzar la adolescencia. De este modo, los cuentos se convierten en un recurso didáctico con gran potencial en la enseñanza de las ciencias (Cruz, Gamboa y Herrera, 2016) porque fomentan el debate, hacen reflexionar a los estudiantes y les permiten integrar los conceptos trabajados desarrollando un aprendizaje más significativo y duradero (García y Pérez, 2016). Los cuentos son mucho más que pequeñas historias, puesto que hablar de comunicación de significado es más fácil a través de la forma narrativa al permitirles organizar los

aprendizajes. Bien es cierto que la investigación de las ciencias racionales y empíricas no tiene forma de narración, pero sus resultados proporcionan material adecuado para confeccionar relatos o pequeñas historias (Elizondo, 1995).

Si, además, involucramos a los estudiantes en la creación de un audiocuento original que ellos mismos graban, supone un elemento más de motivación para realizar la actividad, a la vez que permite favorecer el trabajo colaborativo (Zagalaz, Muñoz y Porras, 2021). Este trabajo presenta una experiencia en el aula de secundaria con la técnica de la narrativa a través de los audiocuentos como una estrategia didáctica para abordar el problema de los plásticos y su contaminación.

2. Objetivo

Este trabajo pretende analizar cómo aplican estudiantes españoles de secundaria los conocimientos adquiridos sobre los plásticos y su contaminación al diseñar y realizar un audiocuento como actividad de síntesis de una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre este tema.

3. Contexto

La propuesta que aquí se expone fue puesta en práctica con un total de 20 estudiantes del segundo curso de educación secundaria obligatoria en España (13-14 años), que cursaban la asignatura obligatoria de física y química en un centro educativo de Málaga. El 55 % eran chicos y el 45 % chicas.

Estos estudiantes participaron en una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre los plásticos y su contaminación (López-Fernández, González-García y Franco-Mariscal, 2020), por lo que ya habían realizado, previamente, diversas actividades relacionadas con esta cuestión. La actividad sobre audiocuentos que aquí se presenta se propuso como actividad final de síntesis de la secuencia con idea de que el alumnado pudiera poner de manifiesto los aprendizajes adquiridos, y permitir asimismo detectar posibles dificultades. Los estudiantes realizaron esta tarea de forma individual.

4. Descripción de la actividad

La actividad constaba de dos tareas. La primera de ellas consistió en el diseño del audiocuento donde los estudiantes cumplimentaron una ficha (figura 1) con las principales características del audiocuento. Entre ellas destacan, su título, una idea inicial iniciada con la frase “Érase una vez un plástico...” y con una extensión entre 200 y 400 palabras, un mínimo de cuatro personajes con su descripción, y, al menos, tres escenas donde debían especificar el lugar, los personajes que intervendrían y los sucesos ocurridos. Para finalizar, debían incluir una moraleja extraída de su audiocuento.

Nombre y apellidos:
Título del audiocuento:
Idea inicial (entre 200 y 400 palabras)
Érase una vez un plástico...

Personajes	Descripción
Plástico (protagonista)	

Escena 1
Lugar:
Personajes que intervienen:
Suceso

Figura 1: Ficha a cumplimentar en la primera tarea

En la segunda tarea se pidió que grabaran el audiocuento con una duración de cinco minutos, pudiendo incluir música u otros sonidos de ambiente. Se ofreció asimismo la posibilidad de realizar una grabación en vídeo donde podían incluir imágenes.

5. Metodología

Para el análisis de la actividad se llevó a cabo una lectura exhaustiva de las fichas que incluían el diseño del audiocuento, así como la audición de las grabaciones. Para cada audiocuento se analizaron cinco aspectos:

- Su temática: Se establecieron categorías para la idea general tratada en los audiocuentos.
- Los contenidos utilizados: Para este análisis se utilizó un sistema de categorías empleado en un estudio previo con estudiantes de secundaria centrado en sus intereses por los plásticos (López-Fernández, González y Franco-Mariscal, 2021).
- Los personajes: Se analizaron en base al tipo de personaje expuesto durante la historia.
- Las escenas: Se categorizaron los diferentes lugares donde transcurrían las historias.
- La moraleja: Se realizó un análisis cualitativo atendiendo a la enseñanza que pretendía transmitir al oyente.

6. Resultados

Este apartado recoge los resultados obtenidos tras el análisis de los audiocuentos elaborados por los estudiantes.

6.1. Análisis de la temática de los audiocuentos: A pesar de que no se pidió que trataran un tema concreto dentro de los plásticos, los audiocuentos diseñados giraron en torno a cinco temáticas: plásticos y medioambiente, vida de los plásticos, plásticos y animales, soluciones a la contaminación por plásticos, y los plásticos como materiales.

Los plásticos y el medioambiente fue la temática mayoritaria (33%). Aunque algunos audiocuentos utilizaban el campo u otros ecosistemas, la mayoría trataban de forma directa el mar o el océano. La segunda temática más empleada se asociaba con alguno de los distintos momentos de la “vida” de un plástico (25%) como su fabricación, su estancia en los supermercados, su compra, los usos en casa o el viaje hasta llegar al mar (figura 2). Una tercera temática fue la relación entre los plásticos y los animales (21%), generalmente especies marinas (figura 3).

Título del audio-cuento: el viaje de la bolsa
Idea inicial (entre 200 y 400 palabras)
<p>Érase una vez un plástico, una bolsa que fabricaron y la llevaron a un supermercado allí me cogieron para guardar la compra. Después de un rato a me tiraron en el contenedor orgánico (gris) donde no se puede tirar ningún plástico donde se deben de tirar es en el amarillo por la noche el camión de basura me llevó al vertedero donde van todos los productos orgánicos de allí salí volando y recorrí un largo viaje hasta que acabé en el mar si me hubiesen tirado al contenedor amarillo me hubiesen reciclado y me meterían en una nave donde de allí es muy difícil salir volando. Ya se hizo de día y había mucha gente en la playa todos me veían y nadie me cogía para llevarme a reciclar me adentré en el mar pasaron meses y meses y yo seguía sin descomponerme hasta que un día llegué a una isla gigante llena de muchísimos plásticos hice un amigo era una pajita que había tenido el mismo trayecto que yo. Yo me hundí y vino una tortuga hacia mí se creía que yo era una medusa y me comió por suerte había allí unos hombres que estaban investigando la isla y vieron a la tortuga ahogándose la llevaron a un veterinario lo más rápido que pudieron y salvaron a la tortuga. Me sacaron de allí y me llevaron donde desde un principio debía de estar en el contenedor amarillo.</p>

Figura 2: Ejemplo de audiocuento sobre diferentes momentos de la “vida” de un plástico

Título del audio-cuento: El plástico que no quería hacer daño.
Idea inicial (entre 200 y 400 palabras)
<p>Érase una vez un plástico que se despertó un día dentro del estómago de una tortuga, ya que está se lo comió creyendo que era una apetitosa medusa, cuando el plástico se dio cuenta de donde estaba se preocupó ya que era consciente del daño que podría causarle a la pobre tortuga, la cual solo quería un aperitivo. A la tortuga le costaba respirar ya que un plástico del tamaño de una medusa estaba pegado a su estómago, el plástico estaba muy preocupado por la tortuga ya que él no sabía cómo salir de ahí y así dejar de hacerle daño, entonces, pensó en porqué estaba ahí y se acordó de cómo llegó a esa playa, llegó a esa playa por culpa de un humano irresponsable, el cual tiró a el plástico al suelo sin recogerlo, el nombre del humano era Eric, el cual por causalidad pasaba por allí y vio a la pobre tortuga casi ahogada, al ver su situación fue corriendo hacia las campañas de ayuda a animales marítimos y allí consiguieron ayudar a la tortuga y devolver al plástico con su familia, el resto de plásticos de la basura. Al salvar a la tortuga la revisaron más a fondo dándose cuenta de que era una cria de tortuga, al ver esto se dieron cuenta de que debían devolverla al mar para que así pudiera reunirse con su familia, la llevaron a la playa de nuevo y allí se encontró con su mamá, la cual estaba muy preocupada por la pequeña tortuga, la mamá tortuga miró a Eric por unos segundos, parecía que le estaba agradeciendo su amable gesto. Eric se sintió tan emocionado que desde ese momento no volvió a tirar más basura en las playas ni en ningún otro sitio y ese mismo verano hizo un voluntariado, el cual consistía en recoger la basura de las playas, para que así la playa volviera a ser un sitio majestuoso con todos sus animales.</p> <p>La moraleja de esta historia es que no debemos tirar residuos en ninguna parte ya que pueden causar daños a la fauna y flora de estos ecosistemas, y que hay que ayudar a que el mundo este limpio, una de las maneras para conseguirlo es reciclar.</p>

Figura 3: Ejemplo de audiocuento sobre plásticos y animales

En menor porcentaje, otras temáticas utilizadas fueron la búsqueda de soluciones mediante acuerdos o el reciclaje (13%), o los plásticos como materiales, donde se incluían otros como papel, cartón, tela, etc. (8%).

6.2. Análisis de los contenidos: La figura 4 recoge los contenidos tratados. Como se observa, más de la mitad de los audiocuentos mencionaban contenidos sobre contaminación y medio ambiente (53,3%). Otros aludían en menor proporción a la solución al problema (20,1%), la composición y propiedades de los plásticos (13,3%) y la concienciación (13,3%).

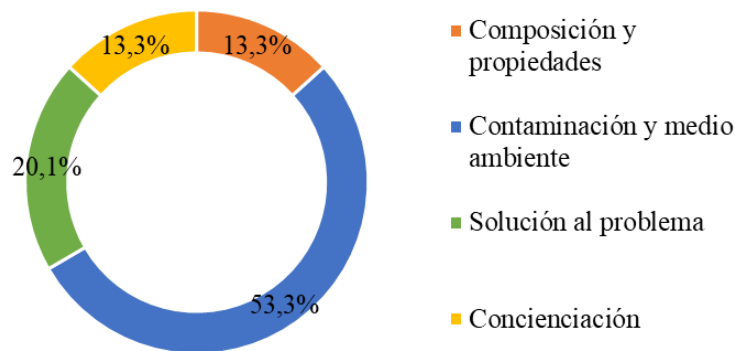


Figura 4: Porcentajes en cada categoría de los contenidos tratados en los audiocuentos.

6.3. Análisis de los personajes: En la mayoría de los casos, el protagonista principal de los audiocuentos era un plástico (una cuchara, un tenedor, una botella, etc.) aunque no se especificaba el tipo de plástico al que pertenecía. Estos personajes establecían relaciones con personas o animales. Los audiocuentos que trataban sobre diversos materiales, también incluían personajes como papel, cartón, tela, ladrillos, etc. (figura 5).

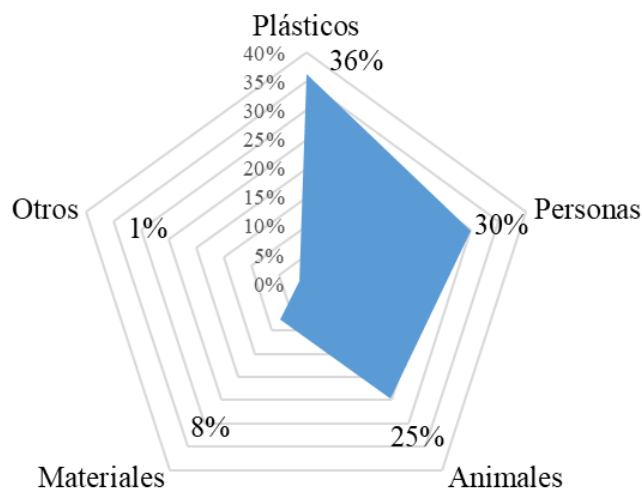


Figura 5: Frecuencia de los tipos de personajes utilizados en los audiocuentos

Un hecho significativo relativo a los personajes fue que, con mucha frecuencia, los estudiantes personificaron a los plásticos, es decir, atribuyeron a los objetos diferentes cualidades de las personas como la capacidad de hablar, opinar o sentir (figura 6). En relación a esto, también debemos mencionar que solamente uno de los audiocuentos incluyó a un científico como personaje.



Figura 6: Cubiertos de plásticos personificados

6.4. Análisis de las escenas: Los sucesos, principalmente, tenían lugar en el medio natural, como ríos, océanos, o playas, siendo éstos los más comunes (44 %). Destaca la imaginación de los estudiantes de estas edades, ya que han escenificado sus historias en ciudades (15%), ya fueran españolas o de cualquier punto del mundo, presentes o incluso futuras, así como en lugares públicos como calles, parques u otras localizaciones. Otras historias sucedían en casas o en habitaciones concretas de las mismas como la cocina o

los dormitorios (15%) o en supermercados (10%). También hubo escenas repletas de fantasía ideadas por los estudiantes (8 %) como “el territorio cucharón” o “el mundo de los plásticos”. Otras escenas ocurrieron en el veterinario (4 %), en el colegio (2 %) o en el vertedero (2 %).

La figura 7 ilustra una escena que tiene lugar en una ciudad del futuro. Resulta llamativo que todas las ciudades futuristas que describen se encuentran altamente contaminadas por plásticos, por lo que no parecen tener demasiadas expectativas en que la situación se pueda revertir a corto plazo.

Escena 3
Lugar: La ciudad 50 años despues
Personajes que intervienen: Los tres plasticos
Suceso:
El plan no funcionó y ahora todo el mundo se arrepiente, todo el océano está repleto de plástico, el pez ya murió y los plásticos siguen en el océano debido a que tarda mucho en degradarse

Figura 7: Ejemplo de una escena en una ciudad del futuro

6.5. Análisis de la moraleja: Las moralejas empleadas para concluir el audiocuento tuvieron dos enfoques. Por un lado, pretendían concienciar al oyente sobre el problema de los plásticos, y, por otro, fue frecuente el uso de refranes o expresiones populares que trasladaban enseñanzas no solamente al ámbito de los plásticos, sino también a la vida diaria.

En el primer caso, algunos ejemplos fueron: “*La moraleja es que hay que intentar no tirar plásticos al suelo porque si no el recorrido que hace el plástico es muy grande. Siempre hay momentos en los que se lo encontrará ya sea un pez o una tortuga o un delfín, y se lo puede tragar. Ese animal, como por ejemplo el pescado, después no los comemos nosotros y es como comernos nuestro propio plástico.*”

En el otro caso, algunas moralejas fueron: “*A veces lo que es simple se convierte en importante*” o “*No importa lo pequeño que seas sino lo consciente que seas.*”

7. Conclusiones

Los resultados preliminares obtenidos en este estudio parecen reforzar la idea de que el audiocuento puede ser un buen recurso didáctico en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, como ya han demostrado autores como Cruz, Gamboa y Herrera (2016) en temas relacionados con la ciencia y la salud. En este caso en particular, los audiocuentos son de utilidad para que los estudiantes de secundaria apliquen sus conocimientos sobre el problema de los plásticos y su contaminación medioambiental.

Una evidencia del aprendizaje adquirido es la adecuada relación que los estudiantes establecen entre la contaminación por plásticos y el medio ambiente o los seres vivos, la indicación de las consecuencias del problema en los animales o los ecosistemas, así como las posibles soluciones que proponen o cómo afrontar el problema mostrado en las moralejas presentadas. En contraposición, desde la enseñanza se debe reforzar el efecto de la contaminación por plásticos sobre la salud de las personas, puesto que solo uno de los audiocuentos abordó este tema. Esto sugiere que los estudiantes comprenden las consecuencias de la contaminación como algo ajeno a nosotros, sin efectos perjudiciales en nuestro organismo.

El audiocuento se muestra también como una estrategia útil que favorece el desarrollo de la imaginación de los estudiantes, y contribuye a crear inicialmente una motivación de tipo extrínseco hacia la tarea planteada que parece convertirse en su desarrollo en una motivación intrínseca que produce aprendizajes, aunque este tema debe estudiarse en mayor profundidad.

No obstante, se requieren nuevos estudios para afianzar estas conclusiones, y en este sentido, se pretende analizar en un futuro trabajo el contenido científico de los audiocuentos para estudiar los aprendizajes adquiridos.

8. Agradecimientos

Este trabajo forma parte de los siguientes proyectos:

- Proyecto I+D+i del Plan Nacional, referencia PID2019-105765GA-I00, titulado “Ciudadanos con pensamiento crítico: Un desafío para el profesorado en la enseñanza de las ciencias”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España en la convocatoria 2019.
- Proyecto de Innovación Educativa PIE19-139 “Educación STEAM en la formación de estudiantes universitarios” financiado por la Universidad de Málaga.

9. Referencias bibliográficas

CRUZ, Sara; GAMBOA, Datana Marcela; HERRERA, Giomar Maritza. Estrategia educativa en primeros auxilios a niños de 7 a 12 años. **Revista salud, historia y sanidad**, Colombia, v. 11, n 1, p. 51-67, ene. 2016.

DORIA, María del Carmen. Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. **Educación Química**, México. V 20, n 4, p. 412-420, oct. 2009.

ELIZONDO, Aurora. La narrativa en la educación básica. **Revista Investigación en la Escuela**, Sevilla, v. 25, p. 43-48, 1995.

FLORIÁN, Ángel Danilo; FRANCO, Ricardo Andrés. La biodegradación de biopolímeros: un aporte a la educación en ciencias para la sustentabilidad en la formación de profesores de química. **PPDQ Boletín**, Colombia, no. 56, dic. 2017.

HJERESSEN, Dennis. L; BOESE, Janet; SCHUTT, David. Green chemistry and education. **Journal of Chemical Education**, Washington, v. 77, n 12, p. 1543, dic. 2000.

GARCÍA, Sandra; PÉREZ, José Manuel. Enseñanza de las ciencias naturales en la educación primaria a través de cuentos y preguntas mediadoras. **Revista Internacional de Investigación e Innovación en Didáctica de las Humanidades y las Ciencias**, v. 3, p. 101-122, 2016.

JAÉN, Mercedes; ESTEVE, Patricia; BANOS, Isabel. Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Cádiz, v. 15, n. 1, p. 1501-1501, ene. 2019.

LÓPEZ-FERNÁNDEZ, María del Mar; GONZÁLEZ-GARCÍA, Francisco; FRANCO-MARISCAL, Antonio Joaquín. Desarrollo de prácticas científicas en una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre la contaminación por plásticos en educación secundaria obligatoria. En D. Cebrián, A. J. Franco-Mariscal, T. Lupión, M.C. Acebal, A. Blanco (Coords.), **Enseñanza de las ciencias y problemas relevantes de la ciudadanía. Transferencia al aula**, p. 51-64. Barcelona (España): Graó. 2020.

LÓPEZ-FERNÁNDEZ, María del Mar; GONZÁLEZ-GARCÍA, Francisco; FRANCO-MARISCAL, Antonio Joaquín. **¿Qué ideas iniciales tienen los estudiantes de 1º de ESO sobre la contaminación medioambiental por plásticos?** 29 ENCUENTROS DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES. 2021, Córdoba, 2021.

MESTRES, Ramón. Química Sostenible: Naturaleza, fines y ámbito. **Educación química**, México, v. 24, p. 103-112, mar., 2013.

ZAGALAZ, Juan, MUÑOZ, Rocío, PORRAS, Vanessa. Diseño y desarrollo de audiocuentos como recurso educativo: Una experiencia interdisciplinar en las aulas de primaria y de grado en Educación Primaria. En AAVV, **Música y pantallas. Cultura, sociedad y educación**, p. 229-250. Difacil Editores. 2021.

Anexo 3. Indicios de calidad de las revistas en las que se ha publicado

Artículo	Revista	Índice de impacto
1	Revista de Educación	<ul style="list-style-type: none"> • Base de datos: WOS (JCR). Journal Impact Factor (JIF, 2021). Categoría: Education & Educational Research. Factor de impacto: Journal Citation Indicator (JCI, 2021): 1.217. Cuartil: Q4 (231/267) (2021). • Base de datos: SJR (Scopus). Categoría: Educación. Cuartil: Q3 (2021). Factor de impacto: 0.338.
2	Journal of Chemical Education	<ul style="list-style-type: none"> • Base de datos: WOS (JCR) (2021). Categoría: Education, Scientific disciplines. Cuartil: Q2 (16/44). Factor de impacto 3.208. • Base de datos: SJR (Scopus) (2021). Categoría: Educación. Cuartil: Q2. Factor de impacto: 0.504
3	Educación Química	<ul style="list-style-type: none"> • Base de datos: SJR (Scopus) (2021). Categoría: Educación. Cuartil: Q4. Categoría: Química. Cuartil: Q3. Factor de impacto 0.19 • Base de datos: Latindex. 33 características cumplidas
4	Journal of Chemical Education	<ul style="list-style-type: none"> • Base de datos: WOS (JCR) (2021). Categoría: Education, Scientific disciplines. Cuartil: Q2 (16/44). Factor de impacto 3.208. • Base de datos: SJR (Scopus) (2021). Categoría: Educación. Cuartil: Q2. Factor de impacto: 0.504

Anexo 4. Listado de méritos transversales a la Tesis Doctoral

Artículos:

- López-Fernández, M.M. y Franco-Mariscal, A.J. (2020). Percepciones de estudiantes de secundaria sobre una actividad de audiocuento para el desarrollo del pensamiento crítico. *Boletín ENCIC, Revista del Grupo de Investigación HUM-974*, 4(2), 67-73

Capítulos de libros:

- López-Fernández, M.M. y Franco-Mariscal, A.J. (2020). Los plásticos en educación: una revisión bibliográfica en la última década. En Gómez, G., Navas-Parejo, M. R., Rodríguez, C. y de la Cruz, J. C. (Eds.), *Teoría y práctica en investigación educativa: una perspectiva internacional* (pp. 1434-1442). Dykinson.
- López-Fernández, M.M., González, F. y Franco-Mariscal, A.J. (2021). Evolución de los conocimientos e intereses de los estudiantes del primer ciclo de secundaria obligatoria sobre los plásticos y su contaminación. En Membiela, P., Cebreiros, M.I y Vidal, M. (Eds.), *Investigación y metodologías en la enseñanza de las ciencias* (pp. 287-296). Educación Editora.

Comunicaciones a congresos:

- López-Fernández, M.M. y Franco-Mariscal, A.J. (Septiembre, 2020). *Concienciando sobre la degradación ambiental de materiales mediante la indagación*. En REDINE, Red de Investigación e Innovación Educativa, Libro de Actas 4th International Virtual Conference on Educational Research and Innovation (pp. 491-493), Madrid, España.
- López-Fernández, M.M. González, F. y Franco-Mariscal, A.J. (Noviembre, 2020). *Concienciar sobre los plásticos a través de la indagación en educación secundaria*. 1er Congreso Internacional sobre Educación Científica y Problemas Relevantes para la Ciudadanía, Málaga, España.
- López-Fernández, M.M. González, F. y Franco-Mariscal, A.J. (Septiembre, 2021). *¿Qué ideas iniciales tienen los estudiantes de 1o de E.S.O. sobre la contaminación medioambiental por plásticos?* En Universidad de Córdoba, Libro de Actas de los 29 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales (pp. 1031-1037). Córdoba, España.
- López-Fernández, M.M. y Franco-Mariscal, A.J. (Septiembre, 2021). *Una revisión bibliográfica de las investigaciones sobre plásticos en didáctica de las ciencias en España en la última década*. XI Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Lisboa, Portugal.
- López-Fernández, M.M. y Franco-Mariscal, A.J. (Septiembre, 2021). *A Review of Educational Research into Plastics in an International Setting*.

14th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA), Braga, Portugal.

- López-Fernández, M.M. y Franco-Mariscal, A.J. (Marzo, 2022). *Impact of an Educational Proposal on the Knowledge about Plastics and their Contamination* in Grade-8 Students. En Pixel, Libro de actas del 11 th International Conference New Perspectives in Science Education (pp. 196-201), Florencia, Italia.
- López-Fernández, M.M. y Franco-Mariscal, A.J. (Junio, 2022). *Percepciones de estudiantes de secundaria sobre los efectos de los plásticos en la salud y en las políticas ambientales*. VI Simposio Internacional de Enseñanza de las Ciencias, Vigo, España.
- López-Fernández, M.M y Franco-Mariscal, A.J. (Septiembre, 2022). *Impacto de una secuencia de enseñanza-aprendizaje en las percepciones de estudiantes de secundaria sobre consecuencias y producción de plásticos*. En Benarroch, A., Libro de Actas de los 30 Encuentros de Didáctica en las Ciencias Experimentales (pp. 811-816). Melilla, España.

Participación en proyectos de investigación:

- Proyecto I+D+i del Plan Nacional, referencia PID2019-105765GA-I00, titulado “Ciudadanos con pensamiento crítico: Un desafío para el profesorado en la enseñanza de las ciencias”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación en la convocatoria 2019 con la cantidad de 45.980 euros, desde el 1 de junio de 2020 hasta la actualidad, cuyo investigador principal es Dr. Antonio Joaquín Franco Mariscal.
- Proyecto de Investigación de referencia EDU2017-82197-P denominado “Desarrollo de competencias en problemas de la vida diaria mediante prácticas científicas de argumentación, indagación y modelización en enseñanza secundaria y universitaria” financiado por el MINECO con la cantidad de 54.450 euros, desde el 26 de diciembre de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2020, cuyo investigador principal es Dr. Ángel Blanco López.

Participación en proyectos de innovación educativa:

- Proyecto de Innovación Educativa PIE19-139 “Educación STEAM en la formación de estudiantes universitarios” financiado por la Universidad de Málaga.

Coordinación de proyectos educativos:

- Programa "Educación Ambiental Aldea, Modalidad B Proyecto Temático”, convocado por la Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía, durante el curso académico 2020/2021 en el CDP Gibralfajate, conforme a las Instrucciones de 30 de junio de 2014 de la Secretaría General de Educación y a la Resolución de 3 de julio de 2020 de la Dirección General de Formación del Profesorado e Innovación Educativa.

