



Los polímeros: Una progresión y propuesta didáctica

Polymers: A progression and didactic proposal

Felipe Gallardo¹ y Cristian Merino²

Recepción: 28/04/21
Aceptación: 28/01/22

Resumen

El presente trabajo muestra una propuesta de una secuencia de enseñanza aprendizaje sobre los polímeros, cuyo objetivo es promover habilidades científicas tales como: a) la formulación de hipótesis; b) diseño experimental, y; c) la elaboración de conclusiones, en estudiantes de primer año de educación superior. La propuesta se desarrolló desde una perspectiva de investigación basada en el diseño, su validación contempló un ciclo de elaboración-aplicación-reelaboración y se implementó en una muestra de 32 estudiantes. Para evaluar los desempeños se empleó un criterio de nivel de logro, el cual se complementó con diferentes extractos textuales provenientes de sus respuestas. Los resultados muestran que los estudiantes presentan ciertos desempeños que se podrían vincular al desarrollo de habilidades científicas, mejorando su comprensión sobre los conceptos relacionados. Finalmente, a partir de la experiencia se sugiere la incorporación de aspectos de naturaleza de las ciencias para fomentar la comprensión sobre el desarrollo del conocimiento científico y los avances tecnológicos en el área.

Palabras clave

Polímeros, progresión, habilidades científicas, secuencia.

Abstract

The present work shows a proposal for a teaching-learning sequence on polymers, in which the objective is to promote scientific skills such as: a) hypothesis formulation; b) experimental design, and c) drawing conclusions, in first-year students of higher education. The proposal was developed from a design-based research perspective and its validation included a cycle of elaboration-application-reworking. It was implemented in a sample of 32 students. To evaluate their performances, a criterion of achievement level was used, which was complemented with different textual extracts from their answers. The results show that students present certain performances that could be linked to the development of scientific skills, improving their understanding of related concepts. Finally, based on experience, the incorporation of natural aspects of science is suggested to promote understanding of the development of scientific knowledge and technological advances in the area.

Keywords

Polymers, learning progression, scientific skills, teaching-learning sequence.

¹Laboratorio de Didáctica de la Química, Instituto de Química, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile. <https://orcid.org/0000-0002-9066-8973>

²Laboratorio de Didáctica de la Química, Instituto de Química, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile. <https://orcid.org/0000-0002-1156-2581>

Introducción

La química de polímeros es una temática relevante en el contexto actual. Se pueden encontrar en la literatura especializada diversos ejemplos donde los materiales poliméricos cumplen importantes funciones, como también contribuyen al desarrollo de la sociedad (Billmeyer, 1975; Young & Lovell, 2011; Cox y Nelson 2012; Caldera y Herrera, 2019). Si bien el uso de materiales de origen polimérico es controversial, por la dificultad en su degradación, biodegradación y/o reciclaje (Coreño-Alonso y Méndez-Bautista, 2010) no es menor que la comprensión de la relación estructura – propiedad que tienen las macromoléculas y su importancia a nivel industrial son fundamentales también para comprender sus beneficios. Por ejemplo, para fomentar su comprensión, Garritz e Irazoque (2004) proponen que los estudiantes participen activamente en el estudio de materiales poliméricos en el contexto escolar o universitario. Con ello, se fomenta en la ciudadanía una mirada más crítica y responsable sobre aquellos aspectos que implica la toma de decisiones y acciones claves para alcanzar algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas, donde los polímeros son actores principales (NU, 2015).

Para promover el aprendizaje de los polímeros, y superar los desafíos de su enseñanza, en la literatura se pueden encontrar diversas propuestas, entre ellas, algunas que apuntan a conocer las propiedades de los polímeros (Basilia, M., Tintori, M., y Talou, M. (2005); explorar concepciones alternativas (Saavedra *et al.*, 2010); concientizar sobre su uso y la relación con la vida humana (APQUA, 1988); profundizar conceptual, procedimental y actitudinalmente sobre el uso de plásticos (Minner, Levy & Century, 2010). Estas propuestas tienen en común promover la alfabetización científica y el pensamiento crítico. También, observamos el uso de la indagación como una estrategia para abordar el desinterés de los jóvenes por estudiar ciencia y tecnología. Creemos importante este punto, por tanto, se sugiere el diseño de una mayor cantidad de propuestas que apoyen la comprensión y toma de decisiones en temas de relevancia socio ambientales vinculados con: el cuidado de salud, la sostenibilidad del medio ambiente, el consumo responsable de energía, entre otros (Harlen, 2007). Así, algunas propuestas basadas en indagación han mostrado que esta metodología es efectiva en la promoción de habilidades científicas en conjunto con el aprendizaje de distintos contenidos científicos (Domènech-Casal 2015, 2016).

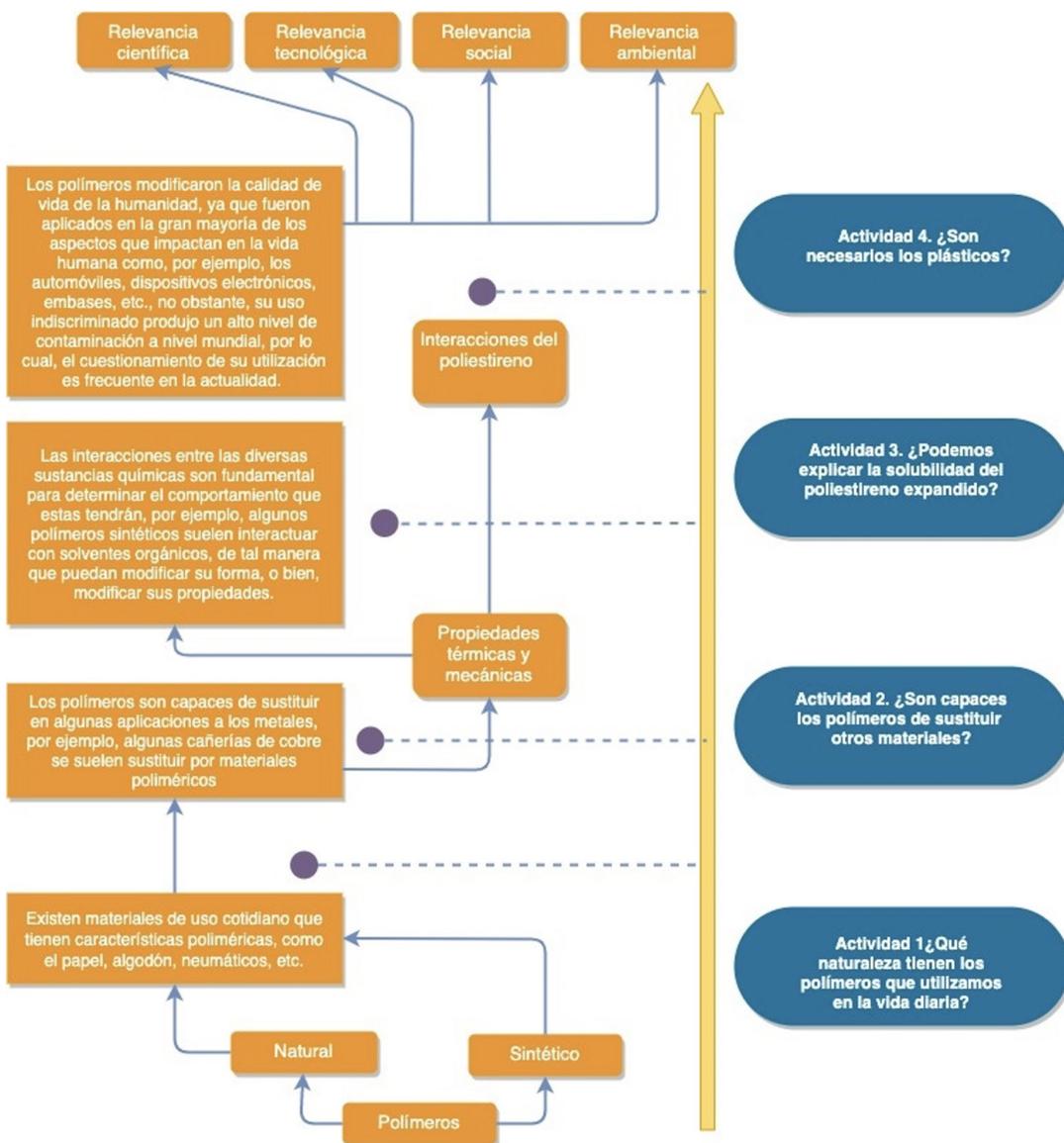
De las propuestas revisadas, se destacan algunas ideas claves: a) vigilar la visión de ciencia que se promueve, las cuales no fomentan la reflexión; b) integrar varios elementos clave, entre ellos “*pensar con modelos*” (Izquierdo, 2013); c) procurar que no se confunda el objetivo central de la ciencia con el objetivo del aprendizaje de las ciencias, y finalmente; d) vigilar que no se confunda con enseñar ciencia indagando (Osborne, 2014).

Con la intención de contribuir en el diseño de nuevas propuestas de enseñanza para el concepto de polímeros, presentamos un conjunto de actividades para promover habilidades científicas y explorar los desempeños de los estudiantes. La pregunta que orienta nuestro trabajo inicial se centra en: ¿Qué posibilidades, limitaciones, condicionantes, sustratos cualitativos, nos ofrece la enseñanza de los polímeros desde el uso de una progresión de aprendizaje?

Progresiones de aprendizaje

Para poder orientar de mejor manera el diseño de una secuencia de actividades y su posterior aplicación y análisis, se propone el empleo de una progresión de aprendizaje, la cual corresponde a modelos curriculares que describen con palabras y ejemplos secuencias de aprendizaje, a través de las que se propone que los estudiantes prosperen hacia un entendimiento de carácter más experto (Alonzo & Gotwals, 2012; Alonzo & Steedle, 2009; Salinas, Covitt y Gunckel, 2013). Las progresiones de aprendizaje suelen estructurarse bajo niveles progresivos de complejidad, de tal manera que los estudiantes puedan realizar un seguimiento respecto a los conceptos que se están estudiando y/o a las habilidades desarrolladas (Garritz y Talanquer, 2012). También, se busca que los estudiantes puedan desarrollar habilidades de forma progresiva durante el desarrollo de una secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA).

FIGURA 1. Propuesta de progresión para la enseñanza de los polímeros. Fuente: tomado y adaptado a partir de Marchán-Carvajal y Sanmartí, 2015.



Considerando las ideas del párrafo anterior como base, en la figura 1 presentamos nuestra propuesta de progresión sobre la enseñanza y aprendizaje de los polímeros. La estructura fue tomada y adaptada a partir de Marchán-Carvajal y Sanmartí (2015) publicado en esta misma revista. Las actividades propuestas están orientadas al logro de la progresión de aprendizaje propuesta. La actividad 1 busca explorar las concepciones alternativas relacionadas con la clasificación de los tipos de polímeros y los motivos por los cuales los clasifican según su naturaleza sintética o natural. Las actividades 2 y 3, apuntan a desarrollar los pasos intermedios de la progresión propuesta, que tiene vínculo con el desarrollo de algunas habilidades y el análisis de propiedades determinantes de los polímeros sintéticos, como estabilidad térmica y mecánica, al igual que su interacción con solventes de uso cotidiano. Finalmente, la

actividad 4 apunta a promover el análisis de los beneficios y consecuencias que tiene el uso de polímeros termoplásticos empleados frecuentemente en la vida cotidiana, a través de un texto que aborda los motivos de por qué estos materiales no son degradables ni biodegradables.

Metodología

Desde un punto de vista metodológico, este trabajo sigue los principios de investigación basada en el diseño (del inglés, Design-Based Research). Esta metodología busca establecer vínculos entre la investigación educativa y su relación con aspectos prácticos desarrollados en un centro educativo, la que se percibe como un estudio sistemático del diseño, desarrollo y evaluación de la intervención docente, cuyo objetivo es promover el conocimiento sobre las características de estas intervenciones y los procesos para su elaboración y desarrollo (Loukomies *et al.* 2016; Juuti & Lavonen, 2012). En este caso, la intención fue potenciar los conceptos fundamentales de las propiedades de polímeros y habilidades de pensamiento científico a través del diseño, validación e implementación de una secuencia, promoviendo una estrategia de indagación. La finalidad fue orientar gradualmente a los estudiantes al desarrollo científico y de las habilidades que se requieren para ello (Padilla y Balderrama, 2019). Siguiendo los preceptos de la investigación basada en el diseño, las fases de trabajo fueron: (a) diseño; (b) desarrollo y validación, y; (c) evaluación.

Contexto para intervenir

La muestra corresponde a una de carácter no probabilística, no aleatoria. Por tanto, se recurrió a un criterio de conveniencia según facilidad de acceso y disponibilidad de los estudiantes a formar parte de la muestra (Otzen y Manterola, 2017). Los participantes fueron 32 jóvenes pertenecientes a una Institución de Educación Superior de la ciudad de Valparaíso (Chile), cuyas edades fluctúan entre los 17 y 19 años, de los cuales el 17,4% corresponde a mujeres y el 82,6% corresponde a hombres. La secuencia se implementó en la asignatura de Química General, perteneciente al tercer semestre de formación inicial de ciencias básicas, conducente a un grado de Técnico, en cuatro sesiones de 90 minutos. Esta asignatura contempla 4 horas semanales de estudio, siendo dos horas teóricas y dos de laboratorio, ambas instancias desarrolladas con el mismo docente, quien procuró realizar un apoyo permanente a los estudiantes durante el desarrollo de las actividades, incentivando la participación de todos durante la intervención. Además de ello, al finalizar cada una de las sesiones, se realizó un plenario donde cada grupo tuvo que compartir sus experiencias y hallazgos, lo que permitió realizar un cierre relacionado con cada temática estudiada. Finalmente, los estudiantes firmaron previamente un acuerdo de consentimiento informado para estudio con personas.

Resultados

A continuación, presentamos los resultados obtenidos a partir de las fases descritas anteriormente.

a) Fase de diseño

Para diseñar la secuencia y diferenciarla de propuestas previas, se consideraron estudios anteriores (Gallardo y Soto, 2013; Escalona, 2019) relacionados con el análisis de textos escolares y universitarios usados en Chile para la enseñanza del concepto de polímero. Estos trabajos, metodológicamente recurren a una taxonomía de clasificación con la cual revisan de libros (Perales y Jiménez, 1996). Se observa que hay ciertos eventos que prevalecen como son: a) la descripción, y b) la definición. Lo anterior, conlleva a inferir que se promueve mayormente la superación a preguntas escritas tipo exámenes, más que fomentar habilidades de pensamiento científico.

También, se analizaron las concepciones alternativas relacionadas con el concepto de polímero y sus propiedades. La literatura reporta que el lenguaje empleado en libros de texto sobre polímeros es inadecuado, ya que a estos materiales se los menciona como: "plásticos, resinas, elastómeros o fibras sintéticas", empleando estos conceptos como sinónimos (Saavedra, Ospina y Moreno, 2010). Otra de las concepciones alternativas frecuentes es: "los polímeros son dañinos ambientalmente", sin explicitar que estas macromoléculas están presentes de forma natural (y artificial) en nuestro planeta y sin considerar el beneficio que trajo a la humanidad el desarrollo tecnológico de dichos materiales (Eyerer, Weller & Hübner, 2010). Estos insumos nos permitieron reflexionar en cómo, paso a paso, hacer prosperar las ideas iniciales de los estudiantes sobre polímeros, hacia un entendimiento de carácter más experto. Para orientar este proceso, se elaboró una ruta que culminó en el mapa de progreso presentado en la figura 1 y la secuencia de actividades (ver anexo).

b) Fase de desarrollo y validación

Una vez construido el mapa de progreso, y teniendo en cuenta los antecedentes antes descritos, se diseñó la secuencia de actividades, considerando procesos de indagación guiada (Reyes-Cárdenas y Padilla, 2012), cuya finalidad es fomentar el desarrollo de habilidades científicas en los estudiantes, específicamente la formulación de: a) formular y fundamentar hipótesis; b) planificar y conducir una investigación para obtener evidencias, y; c) plantear, elaborar inferencias y conclusiones.

En función de lo anterior, se buscó generar consciencia sobre los procesos de construcción de conocimiento y desarrollo de las ciencias, por lo tanto, el diseño de la secuencia incorpora conceptos fundamentales en la química de polímeros como son macromoléculas, monómeros/polímeros, clasificación de polímeros y propiedades termo-mecánicas, los cuales son de gran relevancia para comprender su aplicación en diversos contextos cotidianos. En cuanto al proceso de validación, se consideraron elementos propuestos por Guimarães y Giordan (2013), quienes proponen un proceso cíclico que es concordante con los preceptos de la investigación basada en el diseño: E (elaboración) - A (aplicación) - R (Reelaboración). En este ciclo incluimos los siguientes procesos de validación: a) juicio de expertos, entre los cuales se encuentran especialistas de didáctica de las ciencias y química de polímeros, quienes se apoyaron en la revisión de la secuencia en el modelo de evaluación respondiente de Robert Stake (Fonseca, 2007), comparando con otras propuestas educativas para la enseñanza de los polímeros. Lo anterior se complementó con el modelo Investigación Acción de John Elliot (Latorre,

2003), implementando previamente en un grupo pequeño (6 estudiantes) para revisar instrucciones, lógicas de trabajo, entre otros. A partir de los resultados obtenidos de las validaciones antes mencionadas, se realizaron las modificaciones a las actividades y posteriormente se llevó a cabo su implementación en el grupo estudio.

c) Fase de evaluación

Para dar cuenta de las posibilidades, limitaciones, condicionantes, sustratos cualitativos y desempeños de los estudiantes frente a las actividades propuestas que se suscriben en una progresión de aprendizaje, nos basamos en un criterio porcentual de nivel de logro. A continuación, damos a conocer las respuestas por cada actividad. Lo anterior, se complementa con textualidades provenientes de las producciones escritas y relatos de los estudiantes.

Actividad 1: ¿Qué naturaleza tienen los polímeros que utilizamos en la vida diaria?

En esta primera actividad, observamos que el 100% de los estudiantes (32) son capaces de identificar la botella de plástico, bolsa de plástico y neumático como polímeros sintéticos. Podemos visualizar que incorporan los conceptos mencionados en las producciones textuales que se recogen en la actividad, tales como: *"son elaborados por el ser humano", "no son naturales", "son materiales naturales que son cambiados por el hombre", "son contaminantes y no se degradan",* entre otras.

Por otra parte, en el caso del algodón se logró evidenciar que un 78.0% de los estudiantes reconoce que corresponde a un polímero natural. Aquí encontramos respuestas del tipo: *"porque se obtiene de una planta", "el hombre no lo modificó" o "se obtiene de forma natural"*. Por su parte el 22.0% de los estudiantes respondió que el algodón es un polímero sintético, refiriéndose principalmente a: *"se produce en los laboratorios", "lo crean los científicos",* entre otras respuestas que apuntan a los mismos aspectos. Finalmente, en el caso del papel, se registró que un 62.5% de los estudiantes identifica al papel como un polímero sintético, mientras que un 37.5% registró que corresponde a un polímero natural.

También encontramos respuestas de los estudiantes diversas, como por ejemplo, *"el papel es sintético porque se produce en las papeleras", "es sintético porque el ser humano lo produce", "porque no se produce de forma natural"*. Por otra parte, las justificaciones del papel como un polímero natural fueron más generales y tienen relación con la elaboración de este a partir de la celulosa, como por ejemplo: *"el papel es natural porque se fabrica de la celulosa", "se obtiene de los árboles"*. Se puede observar, en esta actividad, que la identificación de los polímeros sintéticos más comunes se puede realizar sin problemas y su principal identificación guarda relación con que fueron sintetizados en laboratorios. Este aspecto se puede deber a las políticas públicas que ha implementado el Gobierno de Chile en relación a restringir la utilización de algunos polímeros sintéticos, como las bolsas de polietileno y las botellas de polietilentereftalato.

Actividad 2: ¿Son capaces los polímeros de sustituir a otros materiales?

En esta actividad se trabajó el concepto de temperatura de transición vítrea y habilidades científicas, tales como: a) formular y fundamentar hipótesis comprobables, basándose en

conocimiento científico; b) planificar y conducir una investigación para obtener evidencias, y; c) plantear, elaborar inferencias y conclusiones. Las respuestas de los estudiantes, muestran que las propuestas de las hipótesis fueron diversas y tuvieron directa relación con el análisis de los materiales suministrados para su desarrollo. Se observa que el 75.0% de los participantes, consideran el PVC como el material idóneo para reemplazar la cañería (como vía para resolución del problema propuesto), mientras que el 12.5% seleccionó el caucho vulcanizado y un 12.5% el poliestireno. En este último caso, la respuesta a la pregunta fue *"usaríamos el material del que hacen vasos, porque si colocamos muchos vasos juntos se formará una cañería capaz de soportar la fuerza del agua"*. La mayoría de los estudiantes se decantó por el PVC para ser empleado como cañería. Las principales razones a la elección de este material tienen relación con dureza y su baja flexibilidad, como también, que no se deforma por aumentos de presión. Por lo anterior encontramos respuestas del tipo: *"el PVC es la mejor opción ya que no se rompe con facilidad y porque si lo apretamos desde afuera hacia adentro o al revés no cambia su forma"*, o bien, *"el PVC, porque es duro y poco flexible"*. Por otra parte, algunos estudiantes recurren a conocimientos previos para responder la pregunta, pero no los asocian directamente a las propiedades mecánicas o térmicas de cada material estudiados previamente como, por ejemplo: *"usaríamos el PVC porque la mayoría de las casas tiene cañerías de PVC y porque es duro"*.

La planificación y realización experimental que siguieron los estudiantes fue muy similar para todos, ya que considerando que el problema tenía relación con cañerías de agua, por ello, sumergieron un trozo del material en agua por un tiempo determinado, para posteriormente realizar el mismo procedimiento, pero con sales disueltas de magnesio y calcio, simulando aguas duras. Una vez finalizado el trabajo experimental desarrollaron un análisis vinculado al estudio de resistencia mecánica, como por ejemplo: a) dejar caer el material desde una altura determinada; b) ejercer presión desde el interior con pinzas de laboratorio, y; c) desde el exterior incorporar diversos objetos con diferentes masas sobre los materiales.

Finalmente, cada grupo tuvo que plantear una conclusión respecto a si efectivamente el material seleccionado podría ser utilizado como cañería. Aquellos estudiantes que seleccionaron el PVC, confirmaron su elección, como se muestra en el siguiente extracto: *"el PVC se puede usar como cañería, porque al ser golpeado no se rompe y cuando le pasamos agua por adentro esta no salió por las paredes del tubo, además, al terminar el experimento el tubo pesaba lo mismo que cuando empezamos"*. Por su parte, los estudiantes que seleccionaron el poliestireno concluyó que no se debía usar como cañería, porque *"el vaso plástico no sirve porque se rompe con mucha facilidad y no tenemos seguridad de que pueda soportar la presión del agua en su interior, ni de las paredes o suelos en su exterior, esto lo comprobamos cuando apretamos con las manos los vasos y se rompieron con facilidad"*.

Actividad 3: El misterio del poliestireno expandido

Como tendencia se observaron 3 hipótesis distintas elaboradas por los estudiantes. El 50.0% propuso que la causa del deterioro tenía relación con el etanol, donde uno de los grupos expuso que: *"el etanol fue el responsable de deteriorar los vasos de plumavit® al juntarse"*. Adicionalmente, un 37.5% de las respuestas de los estudiantes consideró al agua como la responsable del daño en los vasos, proponiendo que: *"el agua al estar expuesta al ambiente aumentó su temperatura y al tocar los vasos, estos se rompieron"*. Finalmente, solo un 12.5%

de las respuestas menciona que la acetona es la causante de un daño, así señalan: *“la acetona entró en contacto con el plumavit® y reaccionó hasta dañarlo”*. Al igual que en la actividad anterior, se pidió a los estudiantes que propusieran una metodología para poder contrastar su hipótesis. Sin embargo, en este caso los procedimientos planteados fueron más acordes con la hipótesis que en la actividad anterior, considerando una mayor cantidad de variables que determinan la problemática y en menor medida relacionaron variables que no tienen relación con la situación planteada. Al momento de llevar a cabo la actividad experimental, los estudiantes hicieron interactuar el líquido seleccionado con los vasos. Primero a temperatura ambiente y luego a mayor temperatura. Quienes trabajaron con etanol y agua, lograron realizar experiencias a diversas temperaturas, mientras quienes seleccionaron la acetona, solo realizaron la experiencia a temperatura ambiente. Los resultados indicaron que tanto el etanol con el agua a diversas temperaturas (13°C, 30°C y 50°C) no causaron daño alguno a los vasos y por lo tanto la hipótesis se cuestionó inmediatamente. Ante esta situación, los estudiantes discutieron los pasos a seguir y continuaron con la experimentación. Pero, esta vez no solo hicieron interactuar el solvente con los vasos a distintas temperaturas, sino que también los sumergieron en los líquidos un tiempo determinado a distintas temperaturas, evaluando sus propiedades mecánicas y analizando la morfología que presentaban. Así evidenciaron que los vasos se mantuvieron inalterables, y una vez secos no pierden su función ni se deterioran en ningún grado. Sin embargo, al centrar su análisis en la interacción de los solventes con el material, por tiempo, no alcanzan a realizar la actividad de interacción entre el solvente y la caja de cartón. Por tanto, no lograron contrastar totalmente sus hipótesis respecto a los experimentos realizados. Por otra parte, los estudiantes que hipotetizaron respecto a que la acetona era la responsable de deteriorar los vasos, respondieron respondiendo al problema de la siguiente manera: *“estimado vendedor, le escribimos para decirle que los vasos llegaron deteriorados debido a que la acetona que dejó el repartidor sobre la caja con los vasos tomó contacto con el plumavit® y los deterioró, realizamos una serie de experimentos en nuestro laboratorio para poder comprobarlo”*.

Actividad 4: ¿Son necesarios los plásticos?

Finalmente, en esta actividad los estudiantes lograron emplear algunos conocimientos desarrollados durante la secuencia en las respuestas planteadas. Por ejemplo, en la primera de ellas, la gran mayoría mencionaron que los plásticos son resistentes y de lenta degradación, porque no reaccionan químicamente con ácidos o bases y, además, que son muy poco susceptibles a alteraciones térmicas. Lo anterior, se complementa con que ya que habían realizado experimentos a diferentes temperaturas y observan que los materiales no padecían deterioro alguno. En relación con la utilización de los plásticos en sus vidas, la mayoría de los estudiantes menciona que se deberían dejar de utilizarlos y optar por emplear otros materiales menos contaminantes. Solo unos pocos estudiantes respondieron que los podríamos seguir utilizando, pero de forma consciente y realizando el respectivo reciclaje y reducción para no contaminar el medio ambiente. Otro de los aspectos que emergieron, fue que la gran mayoría de los estudiantes no recicla sus residuos plásticos, principalmente debido: a) la baja cultura de reciclaje en nuestro país; b) falta de contenedores donde se puedan desechar los plásticos; c) falta de información. Por lo tanto, las soluciones propuestas van en la línea de aumentar los puntos de reciclaje e informar a la comunidad.

Conclusiones

A partir de trabajos previos sobre la enseñanza y aprendizaje de los polímeros y otros insumos, se diseñó una progresión aprendizaje que orientó el diseño de las actividades para su enseñanza en el aula. Desde el punto de vista conceptual, logramos constatar que los estudiantes son capaces de reconocer algunas propiedades relevantes de los polímeros y relacionarlos con sus aplicaciones, junto con la contaminación que estos pueden provocar. A raíz de las repuestas de los estudiantes a las actividades, se observa en las respuestas de los estudiantes en las actividades realizadas, la presencia de conceptos relevantes relacionados con: a) propiedades térmicas (temperatura de transición vítrea), y; b) propiedades mecánicas (elasticidad, fragilidad, permeabilidad a gases y líquidos, resistencia mecánica, entre otras). Estos conceptos los lograron relacionar mediante el desarrollo de la actividad 2 y 3 que contemplaba la experimentación con: a) fenómenos relacionados a la contaminación, b) el reciclaje, y; c) propiedades químicas. De esta manera, se avanzó en que los estudiantes identifiquen que cada material polimérico posee propiedades particulares que lo distinguen de otros, motivo por el cual su usa en diversas aplicaciones.

Por otra parte, la secuencia buscó promover habilidades científicas tales como proponer hipótesis, diseños experimentales y finalmente conclusiones. Cualitativamente se observaron en el transcurso del desarrollo de las actividades, respuestas cada vez más robustas y sofisticadas; sin embargo, si bien a modo general se lograron cumplir los objetivos planteados inicialmente, en algunos casos emergieron situaciones no previstas en el diseño, las cuales fueron trabajadas con los estudiantes durante la secuencia. Un caso tuvo relación con la desmotivación al evidenciar que la hipótesis planteada en la actividad 3 no respondía al fenómeno acontecido. A lo anterior, se optó por profundizar con preguntas que cuestionan especialmente el diseño experimental para evidenciar que el trabajo metodológico no estaba del todo incorrecto, sino que la hipótesis no era pertinente al fenómeno, y que cuestionarse el error forma parte del proceso. Lo anterior, muestra la necesidad de continuar con nuestro trabajo incluyendo: a) implementar en muestra más grande y un diseño metodológico cuantitativo; b) incorporar actividades que trabajen aspectos de naturaleza de la ciencia de forma más explícita, y finalmente; c) la inclusión de preguntas metacognitivas.

Agradecimientos

Proyectos Fondecyt 1211092 y 1190843 ANID, Gobierno de Chile.

Referencias

- Alonzo, A., & Gotwals, A. (2012). *Learning progressions in science*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Alonzo, A.C., & Steedle, J.T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93, 389–421. <https://doi.org/10.1002/sc.20303>
- APQUA (1988). Proyecto APQUA. Universidad Rovira I Virgili. España. Acceso en: www.apqua.org/es/
- Basilia, M., Tintori, M., y Talou, M. (2005). Propuesta didáctica sobre el tema polímeros. *Alambique*, 45, 61-70.

- Billmeyer, F. (1975). *Ciencia de los polímeros*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Caldera, M., y Herrera, A. (2019). Polímeros adhesivos y formación de uniones a través de reacciones de polimerización y fuerzas intermoleculares. *Educación Química*, 30(2), 2-13. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.2.68197>
- Coreño-Alonso, J., y Méndez-Bautista, M. T. (2010). Relación estructura-propiedades de polímeros. *Educación Química*, 21(4), 291-299. [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30098-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30098-3)
- Cox, M., y Nelson, D. (2012). *Principios de Bioquímica*. España: Editorial Omega
- Domènech-Casal, J. (2015). Una secuencia didáctica de modelización, indagación y creación del conocimiento científico en torno a la deriva continental y la tectónica de placas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 186-197. <https://cutt.ly/5AVjsMr>
- Domènech-Casal, J. (2016). *Gene Hunting*: Una secuencia contextualizada de indagación alrededor de la expresión génica, la investigación *in silico* y la ética en la comunicación biomédica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (2), 342-358. <http://hdl.handle.net/10498/18292>
- Eyerer, P., Weller, M., & Hübner, C. (2010). *Polymers-Opportunities and Risks II: sustainability, product design and processing* (Vol. 12). London: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02797-0>
- Escalona, C. (2019). *Relación entre las estructuras poliméricas y los procesos de reciclaje y biodegradación, secuencia didáctica mediante el foco CTS y naturaleza de la ciencia*. Tesis de Magíster. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- Fonseca, J. (2007). Modelos cualitativos de evaluación. *Educere*, 11(38), 427-432. <https://cutt.ly/ZDqDOjx>
- Gallardo, F. y Soto, J.P. (2013). Análisis de las funciones presentes en libros de textos escolares y universitarios sobre la enseñanza de los polímeros. *Enseñanza de las Ciencias (Núm. Extra)*, 1420-1426.
- Garritz, A. e Irazoque, G. (2004). El trabajo práctico integrado con la resolución de problemas y el aprendizaje conceptual en la química de polímeros. *Alambique*, 39, 40-51
- Garritz, A., y Talanquer, V. (2012). Las áreas emergentes de la educación química: Naturaleza de la química y progresiones de aprendizaje. *Educación Química*, 23(3), 328-330. [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30116-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30116-7)
- Guimarães, Y., & Giordan, M. (2013). Elementos para validação de sequências didáticas. *IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1-8.
- Harlen, W. (2007). Aprendizaje y enseñanza de ciencias basados en la indagación. En Campos, J., Montecinos, C y Gonzáles, A. (Eds.) *Mejoramiento escolar en acción* (pp. 33 - 48). Valparaíso: Salesianos Impresores S.A.
- Izquierdo, M. (2013). School Chemistry: An Historical and Philosophical Approach. *Science & Education*, 22(7), 1633-1653. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9457-5>

- Juuti, K., & Lavonen, J. (2012). Design-based research in science education: one step towards methodology. *Nordic Studies in Science Education* 2 (2): 54–68. <https://doi.org/10.5617/nordina.424>
- Latorre, A. (2003). *La investigación acción. Conocer y cambiar la práctica educativa*. España: Graó.
- Loukomies A., Lavonen J., Juuti K., Meisalo V., & Lampiselkä J. (2016) Design and development of teaching-learning sequence (TLS) materials around us: description of an iterative process. In: Psillos D., Kariotoglou P. (eds) *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_9
- Marchán-Carvajal, I., y Sanmartí, N. (2015). Criterios para el diseño de unidades didácticas contextualizadas: aplicación al aprendizaje de un modelo teórico para la estructura atómica. *Educación Química*, 26(4), 267-274. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.06.001>
- Minner, D., Levy, A., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction—what is it and does it matter? results from a research synthesis year 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 4(4), 474 – 496.
- Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo Sustentable. Acceso en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Otzen, T., y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Padilla, K., & Balderrama, L. (2019). Developing scientific thinking skills through teaching chemical reaction with inquiry-based teaching. *Educación Química*, 30(1), 93-110. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.1.64614>
- Perales, F. y Jiménez, J. (1996). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 369-386. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3954>
- Reyes-Cárdenas, F., y Padilla, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación Química*, 23(4), 415–421. [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30129-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30129-5)
- Saavedra, M, Ospina, L., y Moreno Rodríguez, L. (2010). Conociendo el mundo de los polímeros: unidad didáctica como una estrategia para el aprendizaje. *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, (28). <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/1076>
- Salinas, I., Covitt, B. A., y Gunckel, K. L. (2013). Sustancias en el agua: progresiones de aprendizaje para diseñar intervenciones curriculares. *Educación Química*, 24(4), 391-398. [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72492-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72492-3)
- Young, R., & Lovell, P. (2011). *Introduction to polymers*. CRC press.

ANEXO. Secuencia de actividades

Actividad 1. ¿Qué naturaleza tienen los polímeros que utilizamos en la vida diaria?

Objetivo	Identificar polímeros naturales o sintéticos de uso cotidiano
Habilidad	Análisis, y formulación de explicaciones
Conceptos Clave	Polímero sintético y polímero natural

a) A partir de las siguientes imágenes, clasifica los siguientes polímeros en naturales o sintéticos, justifica tu respuesta e indica el nombre de la macromolécula en cada caso.



Material	Polímero Natural	Polímero Sintético	Explicación
Botella plástico			
Neumático			
Bolsa de plástico			
Algodón			
Papel			

b) Para entender el significado real del término “plástico”, realiza el siguiente experimento. Utiliza un trozo de cada uno de los siguientes materiales y registra las características mecánicas que cada uno de ellos posee, como elasticidad, flexibilidad, dureza, etc. Una vez terminada esta tarea, menciona las diferencias que puedes apreciar entre cada uno de ellos y entrega una explicación de por qué cada material presenta un determinado comportamiento. Luego, utilizando agua a ebullición, sumerge estos materiales por unos minutos y comprueba si existe algún tipo de cambio en las propiedades que describiste anteriormente cuando están calientes. Finalmente realiza un cuadro comparativo entre las propiedades mecánicas registradas.



Material	Propiedades a temperatura ambiente	Propiedades a 100°C	Explicación
Botella plástico			
Neumático			
PVC			

¿Por qué crees que cada material tiene el comportamiento térmico que registraste?

Actividad 2. ¿Son capaces los polímeros de sustituir a otros materiales?

Objetivo	Identificar propiedades térmicas y mecánicas de los polímeros
Habilidad	Análisis, registro de datos, diseño de protocolos de investigación, procesamiento, interpretación de información y formulación de explicaciones
Conceptos Clave	Propiedades térmicas y mecánicas de los polímeros.

Una de las cañerías de agua de tu casa, fabricada de cobre, se rompió por motivos desconocidos y la casa completa está sin suministro. El vecino, de profesión gasfiter, no tiene repuestos de cobre para la cañería, sino que solo materiales plásticos, como poliestireno, caucho entrecruzado, policarbonato, polietileno y policloruro de vinilo, no obstante, no tiene certeza de cuál de ellos podrá servir eficazmente como repuesto para la cañería rota. Para solucionar el problema, el vecino solicita tu ayuda para seleccionar cuál de los materiales es el idóneo para la cañería, sin embargo, él te recomienda que consideres como aspectos relevantes a evaluar en tu análisis la resistencia mecánica y la estabilidad térmica de los materiales.

- a) Antes de comenzar cualquier actividad experimental, analiza los materiales suministrados y registra las características y propiedades que posee cada uno a temperatura ambiente.

Material	Propiedades a temperatura ambiente
Vaso Plástico (Poliestireno)	
Neumático (Caucho entrecruzado)	
Lentes de Seguridad (Policarbonato)	
Bolsa de plástico (Polietileno)	
Trozo de PVC (Policloruro de vinilo)	

Con base en los resultados descritos en la tabla anterior ¿cuál material consideras, a priori, que sería el mejor para ser utilizado en la cañería? ¿Por qué?

b) Utiliza los materiales que se mencionan a continuación y elabora una metodología para poder determinar cuál de los materiales es el que tú recomendarías al gasfiter para ser utilizado en la cañería de agua.

Materiales	Metodología propuesta
<ul style="list-style-type: none"> • Placa calefactora • Agua destilada • Plato poroso • Vaso de precipitado de 1 L • Espátula y bagueta de vidrio • Guantes y mascarilla • Delantal • Lentes de seguridad • Vaso plástico (poliestireno) • Trozo de manguera (caucho vulcanizado) • Lentes de seguridad (policarbonato) • Trozo de bolsa de plástico (poliestireno) • Trozo de policloruro de vinilo 	

Luego de registrar la metodología de trabajo, llévala a cabo. Si durante el desarrollo de la actividad debes realizar algunos pasos que no tenías considerados, o bien algunos de los que pensaste al inicio no fueron necesarios, regístralos en el siguiente cuadro. Modificaciones experimentales de la metodología propuesta

No olvides registrar los aspectos más relevantes que surgen del trabajo experimental. Anotaciones

Una vez finalizada la metodología de trabajo experimental ¿cuál material recomiendas utilizar?

¿Cuál de los materiales recomendaste a tu vecino? ¿Por qué recomendaste este material y no otro? Justifica tu respuesta en base a los resultados obtenidos

Actividad 3. El misterio de los vasos de poliestireno expandido

Objetivo	Identificar y comparar las interacciones del poliestireno expandido con diversos solventes
Habilidad	Análisis, registro de datos, diseño de protocolos de investigación, procesamiento, interpretación de información y formulación de explicaciones
Conceptos Clave	Propiedades térmicas y mecánicas de los polímeros, solubilidad de polímeros.

Para juntar dinero para la gira de estudios de tu curso tus compañeros están organizando una fiesta de degustación de diversos tragos calientes, tales como, varios tipos de té, mate y café. Para ello te han encomendado la compra de vasos desechables de poliestireno expandido (plumavit®) en una conocida distribuidora de plásticos. Al llegar a la tienda se solicitan al vendedor 1000 vasos, no obstante, él responde que tiene exactamente esa cantidad en bodega y que te los despachará al colegio dos días antes del evento.

Cuando llegó la caja al establecimiento, se pudo observar que un 10% de los vasos presentaba algún tipo de deterioro, como lo muestra la siguiente imagen:



Al llamar al vendedor este responde que revisó los vasos antes de llevarlos a la camioneta de despacho y que no presentaban ningún daño. Unos minutos después, el conductor de la camioneta mencionó que sobre la caja de vasos dejó tres recipientes de líquidos distintos, (alcohol etílico denaturalizado, acetona y agua destilada), a lo cual el vendedor menciona que si logras descubrir qué ocurrió con los vasos, conseguirá los restantes para suplir los dañados.

Datos importantes

La caja donde venían los vasos no presenta ningún deterioro (ruptura o humedad).

Se desconoce la cantidad de líquido que llevaba cada botella al inicio del viaje

Antes de comenzar

Según la evidencia encontrada en los vasos de poliestireno expandido y la información del chofer del auto, elabora a lo menos dos hipótesis de lo que pudo haber ocurrido

- 1.
- 2.

Utiliza los materiales que se mencionan a continuación y elabora una metodología para contrarrestar tus hipótesis.

Materiales	Metodología propuesta
<ul style="list-style-type: none"> • Poliestireno expandido • Vasos de precipitado de 500 mL • Espátula y bagueta de vidrio • Guantes y mascarilla • Lentes de seguridad • Alcohol etílico denaturalizado • Acetona • Agua destilada • Delantal • Cajas de cartón 	

Luego de registrar la metodología de trabajo, llévala a cabo. Si durante el desarrollo de la actividad debes realizar algunos pasos que no tenías considerados, o bien algunos de los que pensaste al inicio no fueron necesarios, regístralos en el siguiente cuadro. Modificaciones experimentales de la metodología propuesta.

--

Una vez finalizados los experimentos que realizaste responde las siguientes preguntas.

¿Qué ocurrió con los vasos plásticos?

¿Lo ocurrido coincide con alguna de tus hipótesis?

¿Qué explicación darías al vendedor respecto a los vasos deteriorados?

Actividad 4. ¿Son necesarios los plásticos?

Objetivo	Comprender la importancia de los plásticos en la vida diaria.
Habilidad	Análisis, registro de datos, interpretación de información y formulación de explicaciones
Conceptos Clave	sostenibilidad, medio ambiente

Lee con atención la siguiente noticia

Los plásticos... ¿son un problema?

Un chileno promedio produce aproximadamente 1,08 kg de basura diariamente, del cual un 11% corresponde a plásticos, que pueden variar entre envases de líquidos y comidas, bolsas, envases de tetra pack, entre otros. Según un estudio denominado “Entrada de residuos de plástico de la tierra al océano” entre 10 mil y 25 mil toneladas de desechos plásticos son mal manejados en Chile y potencialmente pueden llegar al mar durante cada año.

El movimiento de los plásticos en el mar dependerá de su densidad, si posee una mayor densidad que el agua, este se hundirá, mientras que si es menos denso, flotará y el viento lo regresará a la costa. No obstante, cuando este tipo de basura se mantiene en el mar, es trasladada por las corrientes marinas hacia lugares específicos en los océanos, donde se forman grandes vórtices, acumulándose la basura proveniente de los continentes, uno de estos vórtices rodea la Isla de Pascua. Como es de esperarse, la basura que más problemas provoca son los plásticos, debido a que su tiempo de degradación es prolongado y a medida que lo hace, se forman partículas cada vez más pequeñas, siendo capaces de ser ingeridas por las especies marinas o aves y potencialmente por el ser humano. Se estima que por cada 3 kg de peces hay 1 de plástico y considerando que estos últimos son menos densos que los peces se vuelve aterrador imaginar el volumen de basura plástica que esto representa, siendo una gran amenaza para los organismos vivos y la biodiversidad. Solucionar el problema de los plásticos no es sencillo, debido a que cuando estos desechos llegan al mar, es prácticamente imposible recuperarlos, no obstante, algunas investigaciones han hallado que bacterias son capaces de degradar plástico, pero aún no existe un plan para limpiar los océanos. Además, la basura en los mares aumenta cada día, siendo inviable cualquier tipo de política para su descontaminación, por lo tanto, la problemática debe ser tratada desde su origen, es decir, desde los continentes y la cantidad de basura eliminada al mar.

Si los plásticos son un problema... ¿podemos vivir sin ellos?

Cuando usted piensa en plástico, ¿qué le viene a la mente? ¿Juguetes baratos hechos en China? ¿Empaques? ¿Bolsas? Elemental, mi querido lector. Pero, ¿y si le hablara de suéteres lanudos? ¿O de cornflakes? ¿O de un armario antiguo de cedro? En realidad “plástico” es solo una propiedad de los polímeros, siendo la estructura química la responsable de las propiedades de las macromoléculas.

El ser humano ha utilizado derivados naturales plásticos durante mucho más tiempo del que se puede imaginar. Por ejemplo, artesanos medievales hacían faroles con rebanadas traslúcidas de cuernos de animal. Los cuernos están hechos de queratina, un polímero mixto de carbón y nitrógeno, la misma clase de material de que están hechos la piel y el pelo, incluida la lana. Un milenio y medio antes del nacimiento de Cristo, los olmecas de México ya jugaban con pelotas hechas de otro polímero natural: el caucho.

En la década de 1840 el estadounidense Charles Goodyear y el británico Thomas Hancock registraron patentes por el caucho “vulcanizado”, es decir, tratado con azufre, introduciendo enlaces covalentes entre las cadenas poliméricas (entrecruzamiento), produciendo un material más resistente tanto térmica como mecánicamente, siendo utilizado ampliamente como ruedas.

El avance tecnológico ha sido tan rápido que hoy en día prácticamente no conocemos ningún artefacto que no esté compuesto completa o parcialmente por polímeros, por mencionar algunos ejemplos tenemos los autos, aviones, smartphones, computadores, electrodomésticos, navíos, etc., de no haber descubierto estos materiales, se proyecta que el ser humano ya hubiera consumido la totalidad de los recursos metálicos del planeta, especialmente hierro, cobre, oro, entre otros. Las ventajas de los plásticos por sobre los metales son varias, entre ellas podemos mencionar que, la mayoría, son químicamente inertes, su peso es menor, son aislantes térmicos y eléctricos, etc. La comunidad científica, además, menciona que económicamente no sería viable la fabricación de medios de transporte (aviones, barcos, buses, etc.) si estos estuvieran fabricados con metales, ya que el consumo de combustible sería extremadamente alto y el petróleo se hubiera consumido completamente, por ello, la utilización de los plásticos es fundamental para la vida humana.

En relación a la lectura anterior y a los conocimientos adquiridos durante las sesiones de clases, responde las siguientes preguntas:

¿Por qué los plásticos son resistentes y de lenta degradación?

¿Cuál es tu opinión respecto al uso de los plásticos? ¿Crees que se deberían dejar de utilizar?

¿Te preocupas de reciclar los desechos que provienen de tu hogar? Explica.

¿Qué soluciones propondrías para evitar que los plásticos contaminen nuestro medio ambiente?

Fuentes:

- *La Tercera - Noticias, deportes y actualidad de Chile y el mundo*. (s. f.). La Tercera. <https://www.latercera.com/noticia/tendencias/2015/05/659-627978-9-hasta-25-mil-toneladas-de-plasticos-anuales-se-arrojan-al-mar-desde-chile.shtml>
- BBC News Mundo. (2014, 1 junio). El plástico, un material maravilla que está hasta en el ADN. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/06/140520_elementos_historia_plastico_finde_yv