



Indagación sobre la degradación de plásticos con estudiantes de secundaria

Inquiry about the degradation of plastics with high school students

María del Mar López-Fernández¹ y Antonio Joaquín Franco-Mariscal²

Recepción: 03-08-2020
Aceptación: 25-11-2020

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 clave

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

¹Universidad de Granada. Didáctica de las Ciencias Experimentales. mmarlf@correo.ugr.es

²Universidad de Málaga. Didáctica de las Ciencias Experimentales. anjoa@uma.es

Introducción

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, 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 degradación puede ser 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.
- 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 hace frágiles a los plásticos 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).

Búsqueda de soluciones desde la química

La realidad es que los plásticos juegan un papel muy complejo y controvertido en nuestra sociedad y, por ello, las investigaciones en química buscan soluciones. En la actualidad, tiene gran interés la fabricación de materiales transitorios, es decir, la producción de polímeros plásticos metaestables que permiten una rápida degradación de los mismos, en monómeros reciclables, mediante la aplicación de calor, agentes químicos o incluso la luz (Feinberg, Hernandez, Plantz, Mejia, Sottos, White, & Moore, 2017).

En resumen, se apuesta por desarrollar nuevos polímeros que presenten las mismas propiedades que los plásticos convencionales, pero que a su vez tengan un período de degradación más corto. Concretamente, se han desarrollado hasta la fecha cuatro tipos (Segura, Noguez & Espín, 2007):

- Plásticos fotodegradables: Presentan grupos sensibles a la luz incorporados al esqueleto del polímero. La luz ultravioleta genera en ellos modificaciones en la estructura del polímero que contribuye a la descomposición en partículas de plástico más pequeñas, las cuales, en algunos casos, son susceptibles a la degradación por bacterias.
- Plásticos semi-biodegradables: Tienen azúcares unidos a fragmentos cortos de polietileno. Las bacterias pueden degradar los azúcares, aunque el polietileno quedaría presente en el medio.
- Plásticos biodegradables sintéticos: Están basados en polietenol o alcohol polivinílico. La presencia de grupos hidroxilo (-OH) le confiere un carácter hidrofílico al material y lo hace soluble en agua.
- Plásticos completamente biodegradables naturales: Son polímeros naturales producidos por bacterias que presentan propiedades similares a los plásticos con la característica de poder biodegradarse al completo. Algunos ejemplos son los ácidos poliláctidos, los poliésteres alifáticos, los polisacáridos y copolímeros derivados de ellos, y los polihidroxialcanoatos (PHA).

Ante esta situación, también se puso el foco en la escuela para la búsqueda de soluciones. Ya, en 1972, durante la Conferencia de Estocolmo de las Naciones Unidas, se reconoció la educación ambiental como elemento esencial para combatir esta crisis ambiental a nivel mundial. La educación ambiental debe lograr una sociedad más organizada, consciente, capaz de utilizar los recursos de la naturaleza y de permitir su perpetuación.

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 (MECD, 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.

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>

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

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, 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 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 a 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.

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 100 días.

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 (días o semanas), la naturaleza produce cambios físicos en estos materiales, requiriéndose mucho tiempo para lograr transformaciones químicas.

(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.

Metodología

Este trabajo corresponde a un diseño de corte cualitativo donde se presentan las hipótesis, diseños, resultados y conclusiones de una indagación sobre degradación de polímeros plásticos.

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.

Descripción de la indagación

A continuación, se describe cómo los estudiantes desarrollaron las distintas etapas de la indagación a lo largo de 15 semanas. 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.

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 todos, las propiedades de los plásticos a evaluar (variables dependientes) se realizó una puesta en común en clase. Se tuvieron en cuenta los agentes atmosféricos que podrían afectar al plástico (sol, viento, lluvia, etc.) y se eligieron propiedades que representarían todos los tipos de degradación (tabla 2) y fueran sencillas de evaluar a diario con mediciones o herramientas sencillas. Tras la puesta en común, los estudiantes elaboraron la tabla 2 como instrumento para registrar diariamente las condiciones climatológicas y los cambios observables en distintas propiedades de los plásticos.

Condiciones climatológicas				Muestra	Propiedades a evaluar en el plástico								
Fecha	Clima	Temperatura máxima y mínima (°C)	Precipitación (mm)		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									

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

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. Los apartados y la información recogida en estas memorias se han analizado de forma cualitativa en este trabajo, junto con el diario de observación del docente.

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, los estudiantes plantearon para cada uno de los plásticos una hipótesis respecto a su aspecto final tras la indagación. Éstas, se obtuvieron de forma grupal y consensuada en el aula:

- 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.

Período	Clima promedio	Temperatura máxima media (°C)	Temperatura 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

Tabla 3. Condiciones ambientales durante la indagación.

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.

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 / 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

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

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, 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 (figura 2). Sólo 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.

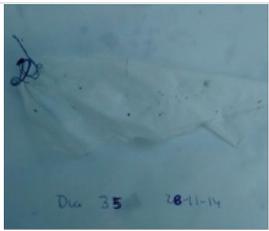
Bolsa blanca de espesor fino		Bolsa blanca de espesor grueso con información impresa	
Aparición de arrugas y dobleces (día 29)	Aparición de puntos negros (día 35)	Pérdida de color de la parte impresa (día 42)	Separación (día 89)
			

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

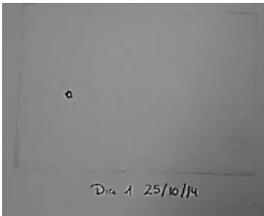
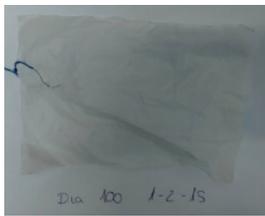
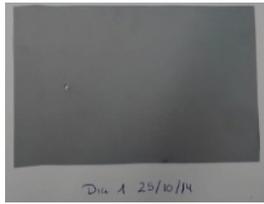
Plástico	Antes de la indagación	Después de la indagación
Bolsa blanca de espesor fino	 <p>Day 1 25/10/14</p>	 <p>Day 100 1-2-15</p>
Bolsa blanca de espesor grueso e impresa	 <p>Day 1 25/10/14</p>	 <p>Day 100 1-2-15</p>
Bolsa coloreada de espesor fino	 <p>Day 1 25/10/14</p>	 <p>Day 100 1-2-15</p>
Pasta de cuaderno transparente y espesor grueso	 <p>Day 1 25/10/14</p>	 <p>Day 100 1-2-15</p>

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

Modelos explicativos de los estudiantes para justificar los cambios observados

Una forma de preservar el interés de los estudiantes durante los 100 días, fue intentando trabajar algunos conceptos técnicos relacionados con los plásticos, con idea de que fuesen capaces de distinguir si los cambios producidos se debían a propiedades físicas o químicas. Un concepto técnico relacionado con propiedades físicas fue la degradación mecánica, mientras que otros relacionados con la estructura interna de la materia fueron la degradación hidrolítica, la degradación de pigmentos fotoquímica y la biodegradación. Asimismo, se preguntó a los estudiantes que razonaran sobre qué había ocurrido a nivel molecular.

La tabla 5, elaborada por los estudiantes tras una puesta en común en el aula, recoge los modelos explicativos del alumnado para justificar los cambios observados en los plásticos de acuerdo con la degradación producida.

Observación realizada	Modelo explicativo del estudiante
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 o por la degradación de los pigmentos a consecuencia de la radiación solar.
Aparición de olor	Probablemente producido por degradación de componentes del material como efecto de la acción de microorganismos.
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.

Tabla 5. Relación entre las observaciones realizadas y los modelos explicativos.

Como se observa, los modelos explicativos de los estudiantes son adecuados para su edad. Sin embargo, estos modelos pueden mejorarse demandando al alumnado que justifique en qué casos se ha producido una reacción química y en cuáles no, y a qué es debido. En el caso del olor el estudiante debería relacionar esta observación con la aparición de un compuesto producido en la degradación del plástico. Resulta también recomendable que relacione la cohesión en los plásticos con su estructura interna, conociendo previamente el tipo de moléculas presente en ese tipo de plástico. Otro aspecto interesante es que indague sobre qué sustancias se producen en las reacciones de oxidación para que ocasionen un cambio de color (Posada, 2012).

Explicación de la degradación producida en los plásticos

Seguidamente, se describe la justificación de los efectos producidos por los distintos agentes atmosféricos.

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.

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.

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.

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.

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 observe una degradación completa del 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 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.

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 concluyó 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.

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.

Es importante mencionar que el análisis de los resultados presentados por los estudiantes se considera relevante para ofrecer una perspectiva técnica al profesor que quiera llevarlo a la práctica en su aula, a la vez que puede servir de fundamento teórico para el lector interesado.

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. En dicho estudio, se prestará especial atención a que los estudiantes mejoren sus modelos explicativos profundizando aún más en los cambios que se producen a nivel molecular. 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.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte 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 del Gobierno de España en la convocatoria 2019.

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.
- Feinberg, E. C., Hernandez, H. L., Plantz, C. L., Mejia, E. B., Sottos, N. R., White, S. R., & Moore, J. S. (2017). Cyclic poly (phthalaldehyde): Thermoforming a bulk transient material. *ACS Macro Letters*, 7(1), 47-52.
- 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.
- 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.
- Jaime, M., Labrada, V. & Hernández, P. (2018). *Bioacumulación y transferencia de metales y contaminantes emergente a través de las cadenas tróficas marinas*. México: Samsara.
- Koch, B. S. & Barber, M. M. (2019). Basuras marinas; impacto, actualidad y las acciones para mitigar sus consecuencias. *Revista de Marina*, 968, 30-39.
- MECD, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (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.
- NRC, National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, 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.
- Segura, D., Noguez, R., & Espín, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología*, 14(C23), 361-371.

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 1º ESO en la indagación científica escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(3), 3501.