



UNIVERSITAT DE BARCELONA

¿MICROPLÁSTICOS EN SALES DE MESA? Cómo estudiarlos fácilmente

Vinyet BAQUÉS, Irene CANTARERO, Elisabet PLAYÀ,
María LERÍA, William P. DE HAAN y Anna TRAVÉ

Universitat de Barcelona

*Guía Educativa.
Manual para el
PROFESORADO*

*Ciencia usando
docencia remota,
híbrida o
presencial*



Grupo Consolidado de Innovación
Docente GRIMS (Geoquímica, Rocas
Ígneas, Metamórficas i Sedimentarias)

Índice

INTRODUCCIÓN	2
¿POR QUÉ ENSEÑAR SOBRE MICROPLÁSTICOS A PARTIR DE LA SAL DE MESA?	2
¿CÓMO USAR LA GUÍA?	2
Uso de la guía según el curso escolar	3
¿Cómo se organiza la guía?	3
Material complementario	3
SECCIÓN 1 – LOS MICROPLÁSTICOS.....	4
OBJETIVOS DIDÁCTICOS	4
CONOCIMIENTOS PREVIOS	4
Clasificación de los plásticos según su tamaño.....	4
Primarios vs secundarios	5
Impacto (mar, ríos, atmósfera, cuerpo humano...)	6
ACTIVIDAD: ¿QUÉ SON LOS MICROPLÁSTICOS?	7
Educación primaria (Ciclo superior, 10 a 11 años)	7
Educación secundaria obligatoria (12 a 16 años).....	8
Bachillerato (17 a 18 años)	10
SECCIÓN 2 – LA SAL.....	12
OBJETIVOS DIDÁCTICOS	12
CONOCIMIENTOS PREVIOS	12
¿Cómo se forman las rocas de sal, o halita? ¿Son sedimentos, rocas o minerales?	13
ACTIVIDAD: CRISTALIZACIÓN DE LA SAL	17
Educación primaria (Ciclo superior, 10 a 11 años)	17
Educación secundaria obligatoria (12 a 16 años).....	19
Bachillerato (17 a 18 años)	20
SECCIÓN 3 – LOS MICROPLÁSTICOS Y LA SAL DE MESA.....	23
OBJETIVOS DIDÁCTICOS	23
CONOCIMIENTOS PREVIOS	23
Obtención de la sal de mesa.....	23
Salinas antrópicas y tipos de sal de mesa	24
ACTIVIDAD: MICROPLÁSTICOS EN SALES DE MESA	29
Educación primaria (Ciclo superior, 10 a 11 años)	30
Educación secundaria obligatoria (12 a 16 años).....	30
Bachillerato (17 a 18 años)	31
RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS Y WEBGRAFÍAS	32
Publicaciones.....	32
Recursos i páginas web.....	32

INTRODUCCIÓN

¿POR QUÉ ENSEÑAR SOBRE MICROPLÁSTICOS A PARTIR DE LA SAL DE MESA?

El objetivo de esta guía es ofrecer actividades colaborativas a profesores/as y educadores/as de instituto reproducibles en diferentes entornos docentes (remoto, híbrido, presencial) para abordar la problemática sobre los residuos plásticos en el medio ambiente y su influencia directa sobre el ser humano. Las actividades están pensadas para poner de manifiesto esta contaminación en nuestro día a día y concienciar al alumnado de la necesidad de un cambio en nuestros hábitos.

El hecho de usar la sal de mesa, un condimento que usamos a diario en nuestras comidas, para mostrar su contaminación por microplásticos hará que los alumnos se planteen a qué niveles de contaminación estamos llegando y les incitará a ser ciudadanos activos en conservación ambiental y en la necesidad de reducir contaminantes. Además, el trabajo colaborativo necesario para las actividades les mostrará la importancia de colaborar para realizar avances en la ciencia.

Para profesores/as y educadores/as, estas actividades permiten abordar de manera amena aspectos geológicos, medioambientales, químicos, tecnológicos y sociales que están fuertemente interrelacionados. Además, estas actividades acogen tres de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): 3 (Salud y Bienestar), 4 (Educación de Calidad), 6 (Agua Limpia y Saneamiento) y 12 (Producción y Consumo Responsables).



¿CÓMO USAR LA GUÍA?

Las actividades de esta guía se han diseñado para introducir la problemática medioambiental actual con los residuos plásticos y en especial con los microplásticos, y concienciarnos cómo, todos nosotros, con nuestros hábitos, contribuimos a ello. Pero también puede usarse para introducir otros aspectos teóricos:

- Aspectos científicos generales, sobre cómo plantear un experimento para resolver una hipótesis científica.
- Aspectos tecnológicos, relacionados con el origen y tipología de los plásticos.
- Aspectos químicos tales como reacciones de disolución y precipitación, o la importancia de un buen diseño del protocolo de laboratorio para evitar contaminación durante la manipulación de la muestra.

- d) Aspectos geológicos, como la formación de la sal como sedimento y roca evaporítica o porque la sal contiene partículas que no son sal.

Las actividades planteadas en esta guía pueden usarse también en actividades extraescolares ya que se propone una experimentación a diferentes niveles usando desde material de laboratorio hasta material que podemos tener en casa. Por este motivo, se han realizado distintas actividades y protocolos según la edad del estudiantado y el entorno dónde se llevarán a cabo las actividades, desde casa hasta el aula común o el laboratorio químico del centro educativo.

Uso de la guía según el curso escolar

La guía contiene información y actividades sobre microplásticos, geología y experimentación química enfocada. Las actividades se han adaptado para los siguientes grupos de edad:

1. Educación primaria (Ciclo superior, 10 a 11 años)
2. Educación secundaria obligatoria (12 a 16 años)
3. Bachillerato (17 a 18 años)

¿Cómo se organiza la guía?

La guía se estructura en 3 secciones enfocadas en los principales aspectos que permiten el estudio del contenido de microplásticos en la sal de mesa. En cada sección se proponen actividades:

- 1) Aspectos medioambientales y tecnológicos: qué son los microplásticos.
- 2) Aspectos geológicos: cómo se forma la sal (como producto natural), y cómo llegan los microplásticos a la sal de mesa.
- 3) Aspectos químicos: qué experimento podemos realizar para observarlos y estudiarlos.

Material complementario

Juntamente con esta guía educativa se ha creado un libro de trabajo para el estudiantado en el que ir completando las observaciones y actividades que se proponen en esta guía. Además, algunas de las actividades vienen acompañadas de la proyección de un vídeo y un manual gráfico simplificado de instrucciones para facilitar el desarrollo de la actividad.

SECCIÓN 1 – LOS MICROPLÁSTICOS

OBJETIVOS DIDÁCTICOS

En esta sección se plantea la pregunta “¿Qué son los microplásticos?”. Para darle respuesta, se realizarán una serie de actividades para profundizar en los siguientes aspectos:

- Conocer qué son los microplásticos y asociar la emisión de estos microplásticos con la contaminación.
- Tomar consciencia y responsabilidad sobre la magnitud y problemática de los microplásticos provocados por el ser humano, entendiendo el foco de emisión de los microplásticos y sus consecuencias medioambientales.
- Proponer cambios cotidianos que puedan ayudar a reducir el impacto de los microplásticos.

Los contenidos específicos que se trabajan en las actividades propuestas son:

- Definición de microplástico
- Origen y tipos de microplásticos
- Impacto de los microplásticos en el ambiente y en el ser humano

CONOCIMIENTOS PREVIOS

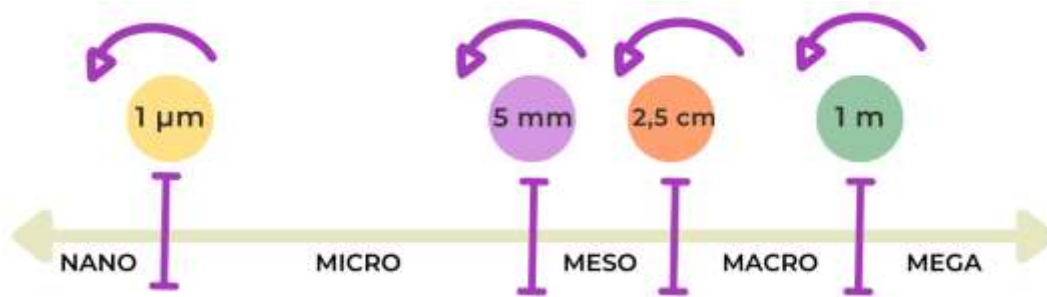
El plástico es en la actualidad uno de los materiales fabricados por el hombre más usado. Su versatilidad y precio convierte al plástico en materia prima para un gran número de sectores (embalaje, construcción, electrónica, moda...). Pero, a su vez, su lenta degradación convierte al plástico en uno de los problemas medioambientales más graves del planeta. Por ejemplo, se estima que una botella de plástico tarda 500 años en degradarse.

Los microplásticos son partículas omnipresentes en el medio ambiente, y son un tema de amplio interés científico.

Clasificación de los plásticos según su tamaño

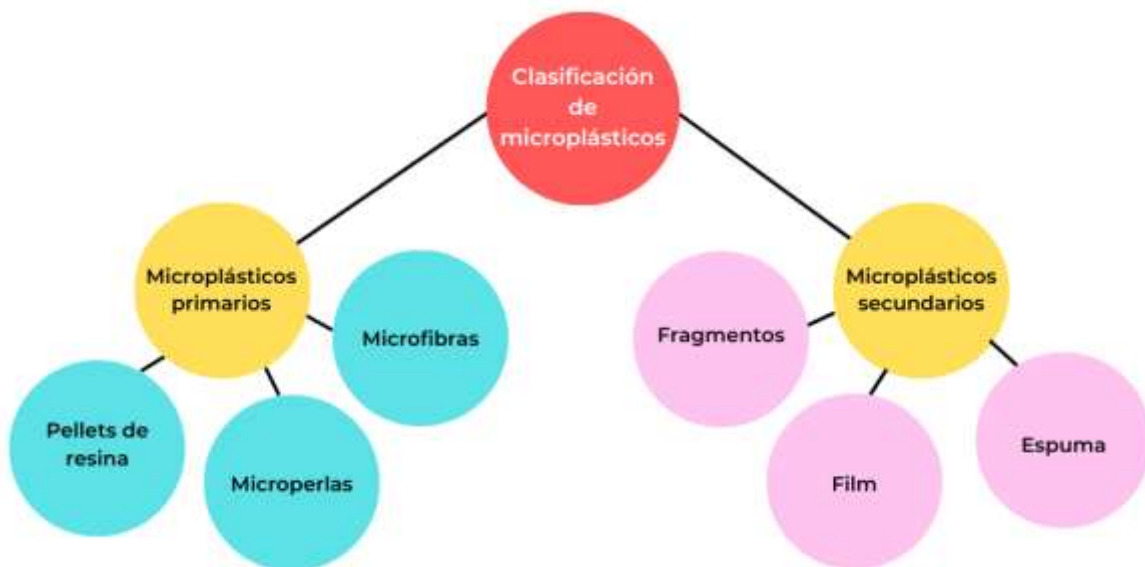
Los microplásticos son partículas de plástico entre 1 μm y 5 mm de tamaño, definiéndose las partículas menores a 1 μm como nanoplásticos. Existen otros rangos de tamaño de los plásticos que están representados por mega, macro y meso plásticos.

Los microplásticos se encuentran en diversas formas en el medio ambiente tales como fragmentos, microesferas (o microperlas), pellets, fibras, espuma (*foam*), y film.



Primarios vs secundarios

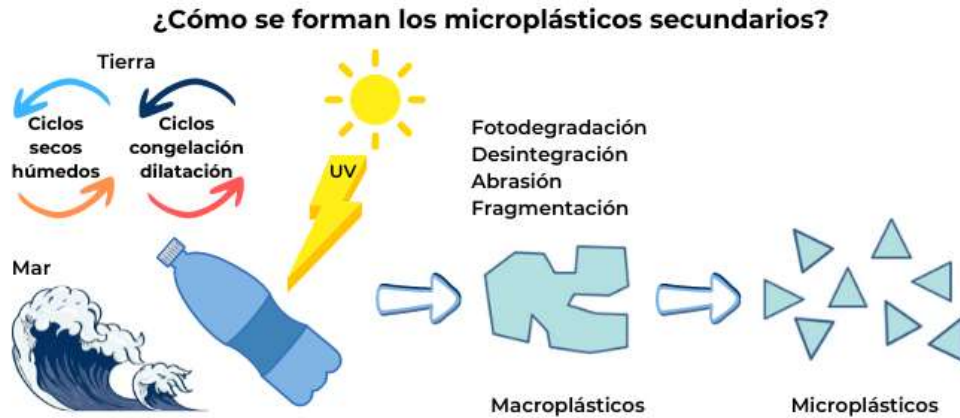
Según su origen, los microplásticos se pueden clasificar en dos grupos: primarios y secundarios.



Microplásticos primarios: Los microplásticos primarios (microperlas, pellets y microfibras, principalmente) se incorporan en el medio ambiente con tamaños inferiores a los 5 mm y, por lo tanto, no provienen de la degradación de plásticos de mayor tamaño. Las microperlas generalmente se utilizan en productos de limpieza, cosméticos, exfoliantes o pasta de dientes. Paralelamente, los pellets se utilizan para la creación de macroplásticos, los cuales se funden en moldes para adquirir la forma del objeto de plástico en el que se transformaran. Finalmente, las microfibras provienen de redes de pesca y de tejidos sintéticos, como el elastano (lycra) o el poliéster, muy presentes en nuestra ropa, y son el principal microplástico primario encontrado en los océanos. Las microfibras también pueden ser semisintéticas, como el rayón o la viscosa, o naturales, como las procedentes de tejidos de algodón o lana. Se ha estimado que por cada lavado en una lavadora con una carga media de 6 Kg de ropa, se liberan 728.000 fibras.

Microplásticos secundarios: Los microplásticos secundarios (fragmentos, film y foam, principalmente) se generan a través de la degradación de macroplásticos expuestos a factores externos durante su transporte a diferentes ecosistemas. Esta degradación se puede realizar por fenómenos químicos y físicos combinados, como la fragmentación, fotodegradación, desintegración y abrasión.

Los fragmentos son las formas más comunes, mientras que los *film* son plásticos delgados, flexibles y laminares derivados normalmente de bolsas de plástico, papel film y materiales de embalaje. El *foam* es cualquier tipo de plástico con una textura espumosa como espumas expansivas de poliestireno, polietileno o PVC.



Impacto (mar, ríos, atmósfera, cuerpo humano...)

La contaminación plástica representa una de las amenazas globales actuales, y está considerada como uno de los indicadores más destacados para evaluar el impacto de la sociedad humana en el medioambiente. Esto se debe a la amplia distribución de este material, ya que se han reportado partículas de microplásticos en el aire, suelo, sistemas marinos someros y profundos, y ríos o lagos de todo el mundo, llegando incluso a zonas remotas como las banquisas y nieves de regiones polares o la fosa de las Marianas. Hasta tal punto está extendida la presencia de microplásticos en el planeta que se ha definido ya el concepto de *ciclo hidrogeoplástico*, en un intento de ampliación actualizada del modelo tradicional de *ciclo hidrogeológico* (ciclo que explica cómo se mueve el agua en la parte superficial de la Tierra, siendo uno de los vehículos de transporte principal de los microplásticos y, por lo tanto, de la expansión de su presencia).

Este hecho tiene una consecuencia directa sobre la fauna puesto que los microplásticos se van incluyendo en las diferentes cadenas tróficas, llegándose a encontrar residuos plásticos en el interior de animales. Como último escalón de esta cadena, los microplásticos son inhalados e ingeridos por los seres humanos (a través de los animales, agua y productos producidos con estos). Se estima que ingerimos el equivalente a una tarjeta de crédito (5 g) a la semana. El impacto en la salud aún está por ver, pero ya se ha relacionado con procesos oxidativos, daño celular y procesos inflamatorios.

Por lo tanto, la contaminación plástica está presente en todos los compartimentos ambientales (hidrosfera, atmósfera, suelo y biota).

Cambiar algunos de nuestros hábitos diarios puede llegar a tener un impacto positivo en el medio ambiente ayudando a reducir nuestra huella de plástico. Las 5 R's de la sostenibilidad nos pueden proporcionar ideas para ayudarnos a realizar dicho cambio:



ACTIVIDAD: ¿QUÉ SON LOS MICROPLÁSTICOS?

La actividad propuesta para esta sección se iniciará con la proyección del vídeo *¿Qué son los microplásticos y cómo nos afectan?* De duración de 1'20" (<https://www.youtube.com/watch?v=nQIAakB3EvU>), donde se plantean los conceptos básicos para definir los microplásticos. Se explorarán los conocimientos previos del alumnado y se trabajarán los contenidos nuevos en una actividad dinámica combinada entre trabajo individual y grupal. A continuación, se detalla el desarrollo de las actividades según el grado académico del alumnado.

Educación primaria (Ciclo superior, 10 a 11 años)

De forma individual, el alumnado tendrá que resolver tres retos para hacer frente a los microplásticos a través del conocimiento y la responsabilidad global y personal:

1. Inventario de plástico (15 min)
2. Comparación de inventarios y reflexión (15 min)
3. Concienciación medioambiental: las 5R's (30 min)

A continuación, se detalla cómo se abarcará cada reto:

1. **Inventario de plástico (15 min):** el profesorado elige un escenario de la escuela, aula o casa y, de forma conjunta con el resto del grupo, hará un

inventario del tipo y cantidad de objetos de plástico que observan. Sugerencias de sitios a elegir son:

- Diferentes zonas alrededor de la escuela
- La papelera de la clase
- Dentro de su propia mochila (tipo de envoltorio del desayuno, uso de fiambreras para el bocadillo, ...)
- Baño de la escuela o casa/productos de higiene personal
- Armario de la limpieza/productos limpieza de la escuela o casa
- Nevera de casa (tipos de envasado)
- Su propio armario (ropa de algodón, sintética, ...)

2. Comparación de inventarios y reflexión (15 min): una vez realizado el inventario, el alumnado, de forma individual, deberá responder a las siguientes preguntas: ¿Cuántos plásticos puedes contar?, ¿Cuántos productos están envasados en plástico?, ¿Cuántos desechos de plástico generas en casa?, ¿Cuánto tardas en llenar una bolsa de basura? ¿Cuántos residuos plásticos generas en un día? ¿Cuántos residuos plásticos contiene la bolsa de basura de casa o la escuela?

3. Concienciación medioambiental: las 5R's (30 min): Reflexión personal. Repartiremos a cada alumno/a la ficha recortable (ver la *Guía del Estudiantado*). En esta ficha redactarán individualmente acciones y retos que pueden llevar a cabo en su vida cotidiana y en la escuela, para disminuir el gasto y el desperdicio del plástico. Una vez hayan rellenado la ficha, tendrán que recortarla por las líneas marcadas e introducir las piezas en las cinco cajas, que tendremos a su disposición en el aula, correspondientes a las 5R's: Repensar, Reducir, Rechazar, Reutilizar y Reciclar.

¡Nos comprometemos! Para esta segunda parte, el/la profesor/a irá leyendo cada una de las propuestas hechas por los compañeros y compañeras para cada una de las 5R's.

Se propone ir pegando cada propuesta en cartulinas de modo que al final de clase se podrán colgar en el tablón del aula o en el pasillo, como representación y recordatorio de los compromisos personales y colectivos de la clase para hacer frente a los plásticos.

Educación secundaria obligatoria (12 a 16 años)

En grupos-base de 5 personas, el alumnado tendrá que resolver tres retos para hacer frente a los plásticos a través del conocimiento y la responsabilidad global y personal:

1. Inventario de plástico (15 min)
2. Cálculo de la huella de plástico (Kg/habitante/año) (15 min)
3. Concienciación medioambiental: las 5R's (30 min)

A continuación, se detalla cómo se abarcará cada reto:

1. Inventario de plástico (15 min): Se deben elegir distintos escenarios en los cuales se hará un inventario del tipo y cantidad de objetos de plástico que se observa. Sugerencias de sitios a elegir por cada grupo-base son:

- Diferentes zonas alrededor del instituto
- La papelera de la clase
- Dentro de su propia mochila (tipo de envoltorio del desayuno, uso de fiambreras para el bocadillo, ...)
- Baño del instituto o casa/productos de higiene personal
- Armario de la limpieza/productos limpieza del instituto o casa
- Nevera de casa (tipos de envasado)
- Su propio armario (ropa de algodón, sintética, ...)

Una vez realizado el inventario, el alumnado deberá reflexionar y responder a las siguientes preguntas: ¿Cuántos plásticos puedes contar?, ¿Cuántos productos están envasados en plástico?, ¿Cuántos desechos de plástico generas en casa?, ¿Cuánto tardas en llenar una bolsa de basura? ¿Cuántos residuos plásticos generas en un día? ¿Cuántos residuos plásticos contiene la bolsa de basura de casa o el instituto?

2. Cálculo de la huella de plástico (Kg/habitante/año) (15 min): la huella de plástico se puede definir como la cantidad de plástico que, al final de su vida útil, acaba como residuo en el medio ambiente. A partir del inventario realizado, el/la alumno/a calculará su propia huella de plástico en Kg/año y la extrapolará a la escuela/ciudad/país. Para realizar el cálculo se ayudará de la calculadora “**Plastic Footprint Calculator**” creada por Hanna Pamula:

<https://www.omnicalculator.com/ecology/plastic-footprint>

3. Concienciación medioambiental: las 5R's (30 min): reflexión personal: repartiremos, a cada grupo, la ficha recortable (ver el *Libro de trabajo para el estudiantado*). En esta ficha cada grupo redactará acciones y retos que pueden llevar a cabo en su vida cotidiana y en la escuela, para disminuir el gasto y el desperdicio de plástico. Cuando cada grupo-base haya rellenado la ficha, tendrán que recortarla por las líneas marcadas e introducir cada pieza en las cinco cajas, que tendremos a su disposición en el aula, correspondientes a las 5R's: Repensar, Reducir, Rechazar, Reutilizar y Reciclar.

¡Nos comprometemos! Para esta segunda parte, los 5 miembros de cada grupo se repartirán en cada una de las cajas de las 5R's, formando un grupo nuevo junto con los otros/as compañeros/as que también son responsables de la misma caja de las 5R's. Cada grupo tendrá que elaborar un vídeo que recoja las propuestas de acciones y retos hechas por todos los compañeros y compañeras. Para hacerlo, cada grupo dispondrá de la caja correspondiente a su R. Tendrán que revisarlas y seleccionarlas según las consideren más importantes y realizables.

La propuesta es poder colgar el vídeo en el portal web del instituto. Se debe tener en cuenta que serán un total de 5 vídeos, referentes a cada una de las 5 R's.

Bachillerato (17 a 18 años)

Cada alumno/a, de forma individual, tendrá que resolver cuatro retos para hacer frente a los microplásticos a través del conocimiento y la responsabilidad global y personal:

1. Inventario de plástico (10 min)
2. Cálculo de la Huella de Plástico (Kg/habitante/año) (10 min)
3. Concienciación medioambiental: las 5R's (15 min)
4. Mesa redonda sobre los microplásticos, medioambiente y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (25 min)

A continuación, se detalla cómo se abarcará cada reto:

- 1. Inventario de plástico (10 min):** deben elegir distintos escenarios en los cuales harán un inventario del tipo y cantidad de objetos de plástico que observan. Sugerencias de sitios a elegir por cada grupo-base son:
 - Diferentes zonas alrededor del instituto
 - La papelera de la clase
 - Dentro de su propia mochila (tipo de envoltorio del desayuno, uso de fiambra para el bocadillo, ...)
 - Baño del instituto o casa/productos de higiene personal...
 - Armario de la limpieza/productos limpieza del instituto o casa
 - Nevera de casa (tipos de envasado)
 - Su propio armario (ropa de algodón, sintética, ...)

Una vez realizado el inventario, deberán reflexionar y responder a las siguientes preguntas: ¿Cuántos plásticos puedes contar?, ¿Cuántos productos están envasados en plástico?, ¿Cuántos desechos de plástico generas en casa?, ¿Cuánto tardas en llenar una bolsa de basura? ¿Cuántos residuos plásticos generas en un día? ¿Cuántos residuos plásticos contiene la bolsa de basura de casa o el instituto?

- 2. Cálculo de la Huella de Plástico (Kg/habitante/año) (10 min):** la Huella de Plástico se puede definir como la cantidad de plástico que, al final de su vida útil, acaba como residuo en el medio ambiente. A partir del inventario realizado, el/la alumno/a calculará su propia huella de plástico en Kg/año y la extrapolará al instituto/ciudad/país. Para realizar el cálculo, se ayudará de la calculadora "**Plastic Footprint Calculator**" creada por Hanna Pamuła:
<https://www.omnicalculator.com/ecology/plastic-footprint>
- 3. Concienciación medioambiental: las 5R's (15 min)**
Reflexión personal: cada alumno/a redactará acciones y retos de su vida cotidiana para disminuir el gasto y el desperdicio del plástico. También se incluirán aquellos ODS que se hayan consensuado para conseguir hábitos más

sostenibles y se propondrán intervenciones de cómo lo se trasladarían a la ciudadanía.

4. Mesa redonda sobre los microplásticos, medioambiente y los ODS's (25 min)

Reflexión grupal: retomando la pregunta inicial “**¿Qué son los microplásticos y cómo nos afectan?**” se establecerá una mesa redonda a nivel grupo-clase. Seo ofrecerá 5 minutos para planificar las ideas sobre los microplásticos, medioambiente y los ODS's para cada alumno/a exponga su opinión individual sobre el uso y desperdicio de los plásticos al grupo. A continuación, tendrán 20 minutos para manifestar sus propuestas a nivel grupal, donde el estudiantado recibirá nuevas opiniones y percepciones, y sacará sus propias conclusiones. Además, ya se les hará razonar sobre la omnipresencia de microplásticos en la Tierra y en nuestro día a día: desde la sal de mesa hasta en alimentos y bebidas.

SECCIÓN 2 – LA SAL

OBJETIVOS DIDÁCTICOS

En esta sección se plantean las preguntas *¿Por qué el agua del mar es salada?* y *¿Cómo se forma la sal?* Para dar respuestas, se realizarán una serie de actividades que profundizan en los siguientes aspectos:

- Realizar disoluciones sencillas en agua
- Entender que la evaporación permite inducir a la cristalización
- Observar el proceso de cristalización de la sal

Los contenidos específicos que se trabajan en las actividades propuestas son:

- Composición química del agua marina
- Origen geológico de sus solutos
- Cristalización de la sal (cloruro sódico)
- Origen geológico de los minerales, sedimentos y rocas de sal

CONOCIMIENTOS PREVIOS

¿Por qué el agua del mar es salada?

El agua de mares y océanos está compuesta por una enorme cantidad de elementos químicos en disolución. Estos elementos proceden principalmente de dos fuentes:

- Meteorización física y química de algunos minerales de la corteza terrestre y de sales orgánicas que provienen de restos de animales y plantas, y que son transportados a los océanos, predominantemente por los ríos. Este proceso es la principal causa de los contenidos en cationes del agua de mar (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , ...)
- Aportación de gases o fluidos relacionados con magmatismo, volcanismo o hidrotermalismo submarino, que contienen grandes cantidades de agua, CO_2 , metano, derivados del cloro, gases nobles, ... Esta aportación es la principal responsable de los contenidos en aniones del agua de mar (Cl^- , SO_4^{2-} , ...; el carbonato procede en parte de este proceso y en parte del anterior).

Por lo tanto, el agua del mar es salada porque contiene determinadas sales minerales disueltas. En promedio, es una solución de 96,5% de agua (H_2O) y 3,5% de elementos y compuestos químicos (sales). La salinidad es la cantidad de sales disueltas en un litro de agua (o en un kilo, si se expresa en unidades de masa y no de volumen, y atendiendo a que la densidad del agua de mar es de 1.024g/cm^3). La salinidad promedio del agua marina es de 35g/L, aunque puede oscilar entre 33 y 37 g/L. Otra manera de expresar la salinidad del agua de mar es en unidades de ‰ (por mil), que corresponde a los gramos de sales disueltas en cada 1000g de agua marina; por lo tanto, la salinidad promedio del agua de mar también es de 35‰. Las sales disueltas

en los océanos representan casi 50 billones de toneladas y están formadas principalmente por seis elementos. Estos son los que se indican a continuación:

Ion	Concentración (g/L)
Cl ⁻	19.35
Na ⁺	10.77
Mg ²⁺	1.29
SO ₄ ²⁻	2.71
Ca ²⁺	0.41
K ⁺	0.39
HCO ₃ ⁻	0.12
Salinidad Total	35

Como puede observarse, los elementos más abundantes son el cloro y el sodio, que se encuentran en forma solutos en solución (iones Cl⁻ i Na⁺) y que pueden precipitar como cloruro de sodio, dicho de otro modo, en forma de **halita** o **sal común**. Este cloruro de sodio (NaCl) representa el 80% de las sales en disolución.

El agua de mar contiene muchos otros elementos en disolución, como Br⁻, Sr²⁺, F⁻, Li⁺ Rb²⁺, entre otros.

¿Cómo se forman las rocas de sal, o halita? ¿Son sedimentos, rocas o minerales?

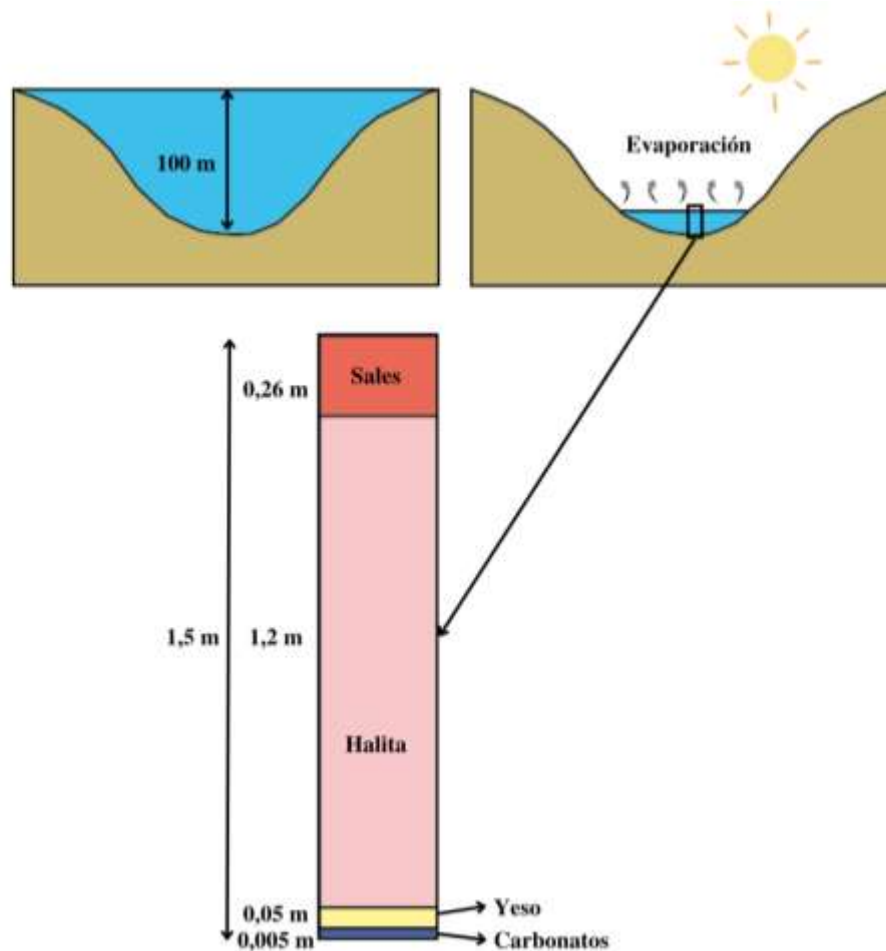
Geológicamente, la sal (o halita, NaCl) es una *roca sedimentaria evaporítica* formada por precipitación química de soluciones saturadas en cloruro sódico y posterior consolidación. Los depósitos evaporíticos son aquellos que se producen por precipitación química de los solutos en disolución cuando el agua salina (o salmuera) se concentra (generalmente por evaporación) y los diferentes minerales precipitan a medida que van aumentando su concentración en dicha salmuera. Las salmueras más habituales que conducen a la formación de evaporitas son aguas marinas, que cuando se evaporan y se concentran, inducen a la precipitación de diferentes minerales. La evaporación del agua de mar produce la cristalización de halita (NaCl), además de otros minerales comunes, como yeso (CaSO₄·2H₂O) o calcita (CaCO₃). Aunque no tan habituales, las condiciones necesarias para producir evaporitas también se pueden dar a partir de la evaporación aguas no marinas, como lagos salados o fuentes saladas (que se forman cuando las aguas subterráneas atraviesan un depósito subterráneo de sal que se disuelve y se enriquecen en los solutos de este depósito y pasando a ser una fuente salina).



Estos depósitos evaporíticos iniciales no se consideran *rocas*, sino que son *sedimentos* evaporíticos. La consolidación de estos materiales formará las futuras rocas, y este es un proceso de magnitud temporal geológica (no es un proceso a escala humana). Este es de hecho el funcionamiento natural geológico de todas las *rocas sedimentarias* (que son aquellas rocas que se generan en la parte superior de la corteza terrestre en condiciones de presión y temperatura baja, y en contraposición de las rocas que se forman en el interior de la corteza terrestre, a altas temperaturas y/o presiones, denominadas *rocas endógenas*). Todas las rocas sedimentarias, incluidas las evaporíticas, se forman inicialmente por la deposición de los *sedimentos* (materiales sólidos inconsolidados e inconsistentes, depositados en la parte superior de la corteza terrestre), que posteriormente se compactan, litifican y consolidan, para dar lugar a las rocas sedimentarias.

Puesto que las diferentes sales tienen solubilidades en agua muy diferentes entre sí, la cristalización de los diferentes compuestos minerales tiene un orden preestablecido y conocido, ya que se conoce la composición química inicial (agua marina). A medida que se evapora y concentra la salmuera, los compuestos más solubles son los últimos en cristalizar, y al revés. Así, pues, en un depósito evaporítico natural suelen encontrarse la siguiente sucesión de materiales, ordenados de primeros a últimos productos de cristalización: carbonato de calcio (mineral calcita; roca caliza), sulfato de calcio (yeso), cloruro sódico (halita) y varias sales de potasio y/o magnesio (silvita, carnalita, ...).

Así, por ejemplo, si se dispusiera de un recipiente con una altura de 1km y se llenara de agua de mar, se obtendrían 15m en total de sedimento evaporítico, que constaría en la base de una pequeña capa de caliza, seguida por unos decímetros de yeso, y 12m de halita. La serie culminaría algo más de 2m de sales potásicas y/o magnésicas, mezcladas con halita. Es decir, los diferentes minerales precipitarían sucesivamente y por orden a medida que se fueran alcanzando los diferentes grados de saturación para cada uno de ellos, dependiendo de su solubilidad.



Se puede producir sal por evaporación de agua salada de forma natural, normalmente agua marina, y este proceso ha tenido lugar en diferentes edades geológicas durante la historia de la Tierra y que se presentan en las dos figuras anteriores. Pero también se puede producir sal en un medio controlado por los humanos con fines industriales. Es el caso de las *salinas antrópicas*, que son las zonas de producción y explotación en las que se produce de forma inducida y controlada la precipitación de la sal con fines industriales. Las salmueras productoras suelen ser de agua marina, aunque también se pueden usar salmueras no marinas (lagos salados o fuentes salinas no marinas).

La clasificación de la sal, y de los otros depósitos evaporíticos, viene regida por su composición mineralógica, de manera que el nombre del mineral (*halita*, *yeso*) será también el que define el nombre de la roca (*halita*, *yeso*). No ocurre lo mismo cuando se produce la precipitación del mineral *calcita*, que dará lugar a la roca denominada *caliza*. Es frecuente confundir el concepto *mineral* con *roca*, especialmente cuando ambos se definen con el mismo nombre. Geológicamente, un mineral es un compuesto sólido cristalino (tiene una estructura atómica ordenada y que se repite periódicamente), con una composición química definida, y generado por procesos naturales geológicos generalmente de origen inorgánico. Por lo tanto, los cristales de sal, yeso o calcita son ejemplos de minerales, ya que cumplen estos requisitos.

Por otro lado, una roca es una asociación de minerales que se han formado conjuntamente por un mismo proceso geológico. Las rocas pueden contener otros componentes, además de minerales, como son fluidos intersticiales, vidrio volcánico,

porosidad, fósiles, clastos, ... Por lo tanto, nos referimos al mineral halita para cada cristal individual de la sal, mientras que el conjunto de cristales que han crecido conjuntamente como consecuencia del mismo proceso geológico (evaporación del agua marina u otras aguas salinas) hace referencia a la roca (si ya está consolidada) o al sedimento (si la cristalización es reciente).

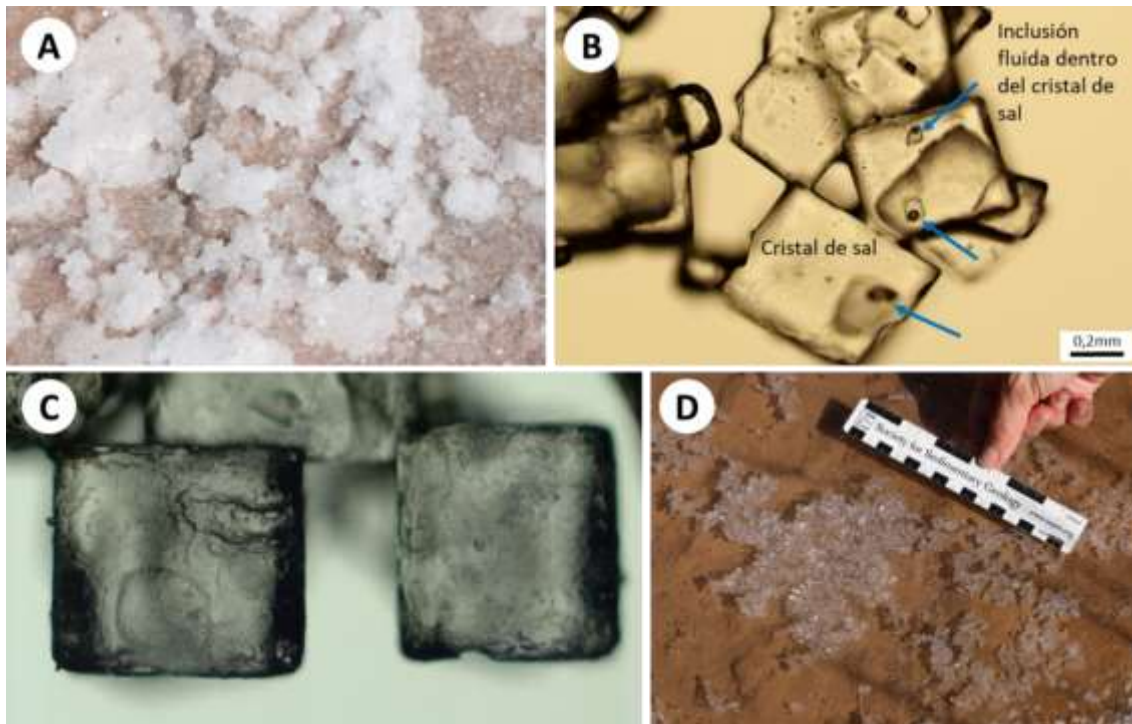
En los experimentos de laboratorio se van conseguir diferentes cristales del mineral halita que en su conjunto constituyen un sedimento de halita. La formación de la roca requeriría un proceso geológico.

¿Cómo son los cristales de halita que se forman?

Generalmente, la halita (NaCl) se presenta como cristales de morfología *cúbica*. El tamaño de los cristales de halita depende principalmente de la velocidad de cristalización: cuanto más lenta, mayores serán los cristales. Si la cristalización es rápida, los cristales no presentarán una morfología cúbica visible a escala visual, pero sí a microescala (necesidad de lupa binocular o microscopio para observarlos). Sin embargo, esto raramente se traduce en el tamaño de la sal de mesa de consumo, ya que la sal empaquetada puede estar molida artificialmente para obtener la “sal fina” o “sal gruesa”.

Los cristales de sal puros son transparentes, aunque pueden adquirir una coloración blanquecina (ver imagen A de la siguiente figura). Esta coloración blanquecina se produce si durante la cristalización de la sal, una parte de la salmuera líquida queda atrapada en el interior del cristal de halita (sólido): son lo que se conoce como “*inclusiones fluidas*” (ver imagen B y C de la siguiente figura). La cantidad de inclusiones fluidas varía según la velocidad de cristalización, la temperatura, la estabilidad de la salmuera, etc., pero están siempre presentes en la sal en mayor o menor concentración. La sal natural puede adquirir otras coloraciones, como rosáceas, rojiza, ... dependiendo de las impurezas que contenga la salmuera (sólidas o en solución) o de la presencia de algunas microalgas que añaden coloración rosada a los cristales. En condiciones de laboratorio, con los experimentos que se realizarán en clase, los cristales de halita que se obtendrán serán transparentes o quizás algo translúcidos, ya que se partirá de salmueras puras.

La precipitación de los cristales de halita dentro de una salmuera se iniciará en la superficie de contacto entre la salmuera y el aire, es decir, en forma de cristales aplanados flotantes sobre la salmuera en evaporación. Estos cristales flotantes iniciales son lo que en la sal de consumo se conoce como la *flor de sal* (ver imagen D de la figura siguiente). A medida que estos cristales van creciendo, su tamaño impide su flotación y caen al fondo de la salmuera. El resto del proceso de cristalización se dará lugar en el fondo de la salmuera, usando los cristales que han caído como núcleos de precipitación (zona de contacto con la superficie basal) o en el seno de la salmuera.



ACTIVIDAD: CRISTALIZACIÓN DE LA SAL

Se harán una serie de experimentos físicos y químicos, en el aula o en el laboratorio, según la decisión del docente. A continuación, se detalla el desarrollo de las actividades según el grado académico del alumnado.

Educación primaria (Ciclo superior, 10 a 11 años)

En esta actividad el/la profesor/a presentará la actividad y se encargará de hacer el procedimiento del experimento y el/la alumno/a rellenará de forma individual su libro de trabajo. La actividad se puede realizar en una hora, aunque es recomendable hacerla poco a poco y revisando con todos los alumnos los ejercicios finales (ver el *Libro de trabajo para el estudiantado*).

Material

Esta actividad se realiza a nivel clase y por este motivo el material necesario para todos los alumnos es el siguiente:

- 1 litro de agua*
- 35 gramos de sal de mesa
- Un tarro o recipiente para mezclar
- Un plato hondo o recipiente ancho
- Una cuchara
- Lupa o lupa binocular
- Muchas horas de sol o una fuente de calor (radiador, estufa, ...)**

* En el caso de estar situados cerca del mar, en lugar de 1 litro de agua y 35 gramos de sal, se puede usar 1 litro de agua de mar.

** Si se quiere acelerar el proceso de evaporación, usar una placa calefactora.

Procedimiento

- Introducir la sal en el tarro (35g).
- Disolver la sal en 1 litro de agua*
- Verter el agua en el plato o recipiente ancho (cuanto más amplio sea habrá más superficie, lo que facilita la evaporación).
- Elegir un sitio muy soleado y dejar evaporar toda el agua**

* En el caso de estar situados cerca del mar, no se realizará la disolución, simplemente se verterá el agua del mar en el recipiente ancho y se dejará evaporar.

** Si se quiere acelerar el proceso de evaporación, usar la placa calefactora o cualquier fuente de calor.

Esperar y hacer las siguientes observaciones:

Es un proceso lento y al principio no se notará nada y sólo se verá cómo baja el nivel del agua. Por la evaporación de parte del agua, el resto empezará a saturarse y se verán pequeños cristales flotantes de sal que crecen en la superficie de la salmuera. Se pueden observar los cristales con una lupa común o con una lupa binocular, si se dispone de ellas, dibujarlos y describirlos (forma, tamaño, color, ...).

Después de varios días (según la temperatura que se consiga) se podrá observar que el recipiente está lleno de estos cristales de sal. Los cristales pueden ser muy pequeños, si la evaporación y cristalización ha sido muy rápida (por ejemplo, si se induce a la evaporación colocando el recipiente sobre un radiador). Si la evaporación es más lenta (por ejemplo, en invierno, dejando que evapore lentamente al sol), los cristales pueden ser mayores. Si el lugar donde se realiza el experimento es muy húmedo, es posible que no se consiga la evaporación total de la salmuera.

ACTIVIDAD COMPLEMENTARIA: ¿POR QUÉ EL AGUA DEL MAR ES SALADA?

Proyectar vídeo (duración 15'07"; <https://www.ub.edu/ubtv/video/perque-laigua-del-mar-es-salada-experiencia-cientifica-a-laula>) y trabajar sobre su contenido. Realizar el experimento que propone el vídeo sobre el posible origen de la salinidad del agua de mar. El experimento está adaptado para educación primaria, por lo que se sintetizan los contenidos teóricos: se presenta únicamente uno de los orígenes del cloruro sódico del agua de mar, obviando el resto de solutos y el resto de orígenes del propio cloruro sódico.

Educación secundaria obligatoria (12 a 16 años)

En grupos-base de 2 o máximo 3 personas, el estudiantado realizará la cristalización de NaCl a partir de una solución subsaturada en NaCl (en la que aún no se produce la precipitación de la halita), similar al agua marina, y creada por ellos/ellas mismos/as. En esta actividad, el alumnado hará el cálculo de la concentración del agua del mar (gramos por litro) asumiendo el cloruro de sodio (NaCl) como el único soluto presente en el agua marina y conociendo la salinidad total del agua marina.

Material

Para cada grupo es necesario:

- 500mL de agua
- Sal de mesa de cualquier tipo
- Algunos granos de sal gruesa (“para hornear”, por ejemplo)
- Un vaso de precipitados
- Una espátula con cuchara
- Una placa de Petri
- Placa calefactora
- Un lápiz o bastoncillo de madera
- Un trozo de cuerda fina o hilo de lana
- Pegamento (que no tenga base acuosa o soluble en agua)
- Lupa binocular

Procedimiento

- Hacer el cálculo de la cantidad de sal necesaria para obtener la misma concentración de sal en 500mL de agua (sabiendo que la salinidad promedio del agua del mar es de 35g/L).
- Disolver la sal en los 500mL de agua en el vaso de precipitados o un cubo.

PROCESO A:

- Calentar la placa de petri con la placa calefactora e ir vertiendo la disolución a pequeñas cantidades mientras se evapora el agua. No llevar a ebullición, solo se pretende calentar ligeramente para acelerar el proceso.
- El experimento terminará cuando se realice la evaporación completa de toda la disolución. Los cristales de sal crecerán en la superficie agua-sustrato, encima de la placa, en el caso que se vierta poca agua y el proceso sea muy rápido. Si se va añadiendo agua más abundante, se puede ver también la cristalización a la superficie aire-agua, en una capa delgada que flota, pero que después se hace grande y termina depositándose (es lo que se conoce como la *Flor de Sal*).

PROCESO B:

- Pegar algunos granos de sal gruesa en el extremo de la cuerda o hilo (actuarán como núcleos de precipitación).
- Atar un extremo de cuerda fina o hilo de lana al lápiz o bastoncillo de madera y poner el otro extremo (que contiene los cristales de sal pegados) dentro del vaso de precipitados con la disolución.

- Si se quiere evitar que se llene de polvo, se puede cubrir ligeramente con un papel.
- Poner el vaso de precipitados en un sitio soleado y dejar que pasen unos días sin que nadie lo toque. El hilo con la sal pegada sirve como punto de nucleación de los cristales de sal, favoreciendo su precipitación por ascensión capilar de la salmuera y generando cristales más grandes.

Observaciones y resultados:

Con la ayuda de la lupa binocular, los alumnos tendrán que hacer un dibujo sencillo, pero claro y con detalle, de lo que han observado en la placa de petri (PROCESO A) y en el vaso de precipitados con el hilo (PROCESO B).

A continuación, tendrán que responder las preguntas propuestas en su documento de trabajo (ver el *Libro de trabajo para el estudiantado*) y deducir las conclusiones de los parámetros que favorecen a la cristalización, la tipología de los cristales que se forman y constatar que el tiempo influye en el crecimiento mineral.

Bachillerato (17 a 18 años)

En grupos-base de 2 o máximo 3 personas, se realizará el experimento de cristalización de sal a partir de la evaporación de una salmuera subsaturada en NaCl similar al agua marina, pero creada por ellos mismos. En esta actividad los/as alumnos/as harán el cálculo de la concentración de las distintas sales presentes en el agua del mar (g/L), conociendo la salinidad total del agua y deduciendo qué sales se encuentran en disolución y qué reactivos se pueden usar.

Material

Para cada grupo de alumnos es necesario:

- 250mL de agua destilada
- Un vaso de precipitados
- Una espátula con cuchara
- Un recipiente ancho o plato
- Placa calefactora
- Lupa binocular
- Reactivos solubles para salinizar el agua*

*Los principales solutos del agua de mar son, por orden de mayor a menor concentración: Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ y HCO_3^- . Para generar un agua de mar artificial se pueden adquirir reactivos químicos homologados o bien recurrir a materiales comunes más asequibles. Se propone que el diseño del experimento se realice por el propio alumnado, y que se haga una investigación previa sobre qué reactivos pueden usarse. A continuación, se enumeran algunas de las posibilidades, considerando los productos más adecuados por su solubilidad en agua:

-Cloruros (Cl^-) y el sodio (Na^+): Sal común o de mesa (NaCl ; preferiblemente no refinada y sin aditivos). *¿Dónde adquirir el producto? En cualquier tienda de alimentos o supermercados.*

-Sulfatos (SO_4^{2-}) y calcio (Ca^{2+}): Yeso o escayola comercial. Se recomienda usar escayola, puesto que es más pura. ¡ATENCIÓN!: cuando se adquiere una bolsa de “yeso” o “escayola”, se está comprando en realidad, el mineral *bassanita* ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) y no el mineral yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). La fórmula molecular de la *bassanita* será la que se considerará para realizar los cálculos estequiométricos, y no la del yeso. *¿Dónde adquirir el producto? En tiendas de bricolaje o manualidades (yeso de construcción o escayola de construcción o manualidades) o en farmacias (escayola médica para roturas óseas o escayolados).*

-Magnesio (Mg^{2+}): Sales de Epsom, usadas como sales de baño por sus propiedades antiinflamatorias. Estas sales están formadas por el mineral *epsomita* ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). ¡ATENCIÓN!: Cuando se añaden las sales de Epsom a la disolución también se añade sulfato, por lo que habrá que considerar este sulfato junto con el añadido con la escayola. *¿Dónde adquirir el producto? En algunas tiendas de alimentos o supermercados y en farmacias.*

-Potasio (K^+): Fertilizantes de potasio. Se pueden encontrar en diferentes formulaciones: KOH (potasa), KCl, sulfato de potasio. ¡ATENCIÓN!: Será necesario revisar la formulación química del producto adquirido y considerar qué iones se aportan. *¿Dónde adquirir el producto? En mercados o tiendas de plantas y de productos agrícolas.*

-Carbonatos y sus especies iónicas (HCO_3^-): Se propone no considerar este soluto, puesto que su concentración es menor y no se observará ninguna precipitación apreciable a no ser que se evaporen grandes cantidades de agua. Además, las sales de carbonato no son solubles en pH neutro, por lo que el uso de un reactivo de carbonato (CaCO_3 , por ejemplo), requiere la acidificación de la solución.

Procedimiento

- Hacer el cálculo de la concentración de los distintos tipos de sal que usaremos como reactivos en el agua del mar (g/L).
- Hacer el cálculo de la cantidad de sales necesaria para obtener la misma concentración de sales en 250mL de agua.
- Disolver las sales en los 250mL de agua destilada en el vaso de precipitados.
- Verter de la disolución en un recipiente ancho o plato.
- Calentar el recipiente ancho o plato con la placa calefactora dejando que se evapore el agua. La evaporación también se puede hacer sin calentar, dejando la solución al Sol.

Observaciones y resultados

Con la ayuda de la lupa binocular, se hará un dibujo sencillo, pero claro y con detalle, de lo que se ha observado en el plato ancho. El alumnado tendrá que observar las distintas formas cristalinas, anotar los nombres y fórmulas de los cristales y establecer el orden de precipitación de las sales.

A continuación, se deberá responder a las preguntas propuestas en el documento de trabajo (ver el *Libro de trabajo para el estudiantado*) y sacar las conclusiones de los parámetros que favorecen la cristalización, el concepto de solubilidad y temperatura.

Una de las observaciones que pueda sorprender más es que la mineralogía predominante de los cristales obtenidos es halita (NaCl) y probablemente no se observará ningún otro mineral. Puesto que se han añadido otros elementos a parte del Na i Cl (K, Mg, sulfato, ...), se esperaría la precipitación de otros minerales, los cuales efectivamente se forman por evaporación de agua marina (yeso, cloruros K-Mg,...). Las causas son:

-La concentración en Cl i Na de la salmuera es mucho mayor que la del resto de solutos, y por lo tanto, el volumen de NaCl es mucho mayor y enmascara el resto de minerales formado, que pueden parecer similares si se observan con la lupa binocular (translúcidos).

-Cuando se produce la cristalización de la sal, una parte de la salmuera queda atrapada en el interior del cristal en forma líquida (son las "inclusiones fluidas"). La cantidad de inclusiones fluidas varía según la velocidad de cristalización, la temperatura, la estabilidad de la salmuera, ..., pero están siempre presentes en la sal. Por consiguiente, algunos elementos químicos, predominantemente K i Mg, no se encontrarán principalmente como minerales sólidos, sino que se mantendrán en forma líquida, atrapados dentro de la sal, y no habrán precipitado.

SECCIÓN 3 – LOS MICROPLÁSTICOS Y LA SAL DE MESA

OBJETIVOS DIDÁCTICOS

En esta sección se aborda la problemática sobre los residuos plásticos en el medio ambiente y su influencia directa sobre el ser humano. Se realizará una actividad experimental en el aula común o en el laboratorio para profundizar en los siguientes aspectos:

- Plantear la problemática de los microplásticos presentes en la sal de mesa
- Diseñar un experimento químico para separarlos y observarlos.
- Acotar todas las variables necesarias para que los resultados del experimento diseñado sean concluyentes.
- Analizar en profundidad los parámetros que pueden introducir contaminación durante el experimento de laboratorio y minimizar la contaminación.

Otros contenidos específicos que se trabajan en las actividades propuestas son:

- Composición del agua marina y agua no marina.
- Aprender la diferencia entre diferentes tipos de sal de mesa que existen en el mercado, según su origen geológico: sal marina, sal de manantial y sal de mina, principalmente.
Poner de manifiesto la presencia de microplásticos en los distintos tipos de sales de mesa y, por extensión, en otros alimentos o medios naturales.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Obtención de la sal de mesa

La sal de mesa (o de cocina) se suele obtener mediante diferentes procesos. Por regla general se obtiene por:

Evaporación de una salmuera: Se fundamenta en la evaporación de una disolución salina hasta la saturación de la solución en NaCl y la precipitación de la sal. El método más usado para lograr la evaporación es la evaporación solar. Las salmueras, a su vez, pueden ser de origen marino (evaporación directa de agua de mar por exposición al Sol) o no marino (como lagos salinos o fuentes saladas, que también se exponen a evaporación solar).

Extracción en mina: La sal gema (o roca de sal o halita) se obtiene directamente de la extracción minera, generalmente subterránea, de yacimientos de sal de edad geológica (millones de años). Estas rocas se trituran y seleccionan hasta conseguir la medida de grano deseado para ser comercializadas como sal de mesa.

Procesos de termocompresión al vacío: Estas sales son totalmente químicas y industrializadas, y son las más habituales en el mercado y las más económicas. El

proceso consiste en inducir la precipitación del NaCl a partir de una salmuera (agua con sal) depurada químicamente. La precipitación se consigue sometiendo a la salmuera a un aumento de presión y temperatura en condiciones de vacío y potenciar su evaporación controlada.

Salinas antrópicas y tipos de sal de mesa

Tal y como se ha explicado en la sección 2, la sal es un depósito sedimentario evaporítico formado por precipitación química a partir de una salmuera que cristaliza sus solutos a medida que alcanza la saturación en cada uno de sus compuestos. Geológicamente, la clasificación de estos materiales viene regida por su composición mineralógica, debido a que es el resultado de la cristalización de los elementos químicos que se encuentran disueltos en la salmuera que los está produciendo. Esta salmuera puede ser: agua de mar o aguas salinas no marinas (como lagos salados o fuentes saladas que se forman cuando las aguas subterráneas atraviesan un depósito subterráneo de sal, lo disuelve y se enriquecen en los solutos de este depósito). La precipitación de la sal a partir de la evaporación de la salmuera forma lo que en Geología se denomina un “sedimento evaporítico”, y cuando este sedimento o material inicial se litifica y consolida se forma la futura “roca evaporítica”. Para este proceso final se requieren tiempos geológicos (no es un proceso a escala humana).

La sal (mineral halita, NaCl) no es el único mineral evaporítico que se puede formar bajo estas condiciones, siendo también el yeso, la anhidrita, la silvita, la carnalita, ... otros minerales evaporíticos que pueden formar las futuras rocas evaporíticas. Se recomienda consultar el texto explicativo del apartado 2.

Dependiendo de la composición química de la salmuera y del proceso industrial de obtención obtendremos distintos tipos de sales de mesa:

Sal marina: la sal marina se extrae mediante la evaporación del agua del mar. Contiene un alto nivel de elementos como el cloro, sodio, magnesio, azufre, calcio, potasio y como minoritarios yodo, flúor, hierro y zinc, puesto que engloba una parte importante de los elementos en solución en el agua marina original. La sal marina se obtiene y procesa en las salinas marítimas (o marinas) antrópicas. El agua marina se canaliza dentro de diversas balsas y se deja evaporar a partir del calor del sol. El circuito de las balsas está diseñado para inducir la precipitación de los diferentes solutos del agua marina, hasta conseguir la precipitación de la sal (NaCl) en los últimos estadios de evaporación. Las balsas donde se produce la precipitación y recogida comercial de la sal se denominan *cristalizadores*.

Sal de manantial: la sal de manantial se extrae a partir de salmueras no marinas que normalmente son sometidas también a evaporación solar. Este tipo de salmueras normalmente se generan a partir de aguas subterráneas que circulan a través de depósitos evaporíticos solubles; la disolución parcial de estas rocas incorpora solutos a las aguas que, si llegan a fuentes superficiales, se convierten en fuentes de agua salada. Su composición puede ser más variable que la del agua marina debido a que depende de otros factores, como la naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto, duración de dicho contacto, temperatura,

presión, existencia de gases, grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables, etc. Sin embargo, lo más habitual es que se trate de aguas salinas principalmente enriquecidas en Na y Cl, de manera que las sales que se acabarán formando son muy puras en NaCl, incluso más que la sal marina. Las salmueras no marinas de manantial pueden también desembocar en lagos, y acabar formando lagos salinos. En los dos casos, la evaporación solar, inducida en salinas continentales antrópicas o natural en el propio lago, será la causante de la precipitación de la sal, igual que en la sal marina.



Sal de mina (o sal gema): la sal de mina se extrae de minas de halita (que pueden contener también otros cloruros u otros minerales (sulfatos, silicatos, carbonatos, óxidos, ...), con contenido de cloruro de sodio muy alto (97-99%) y pequeñas cantidades de otros elementos como el magnesio, calcio y hierro. La sal de mina (o sal gema) se obtiene con explotaciones mineras de rocas de halita, que se trituran y empaquetan para su comercialización. Un ejemplo de sal de mina conocido es la Sal Rosa del Himalaya, en la que su contenido en hierro es el causante de su característico color rosado. En realidad, la sal de mina también es sal marina, aunque no se ha producido a partir de la evaporación del agua de mar actual, sino que se trata de un depósito evaporítico que se sedimentó hace millones de años, por evaporación del agua de mar de la época geológica correspondiente a la roca explotada.

Flor de sal: La Flor de Sal es un tipo de sal particular, que puede formarse tanto en las salinas marinas como en las no marinas. Por lo tanto, esta sal puede ser de origen

marino o continental. Su particularidad consiste en que es una sal casi artesanal, muy preciada y mucho más cara que las anteriores por ser más escasa. Es la sal que cristaliza en el límite entre el aire y la salmuera, flota en la superficie del agua que se está evaporando generando una especie de velo flotante. Se recoge manualmente y su forma es de placas planas formadas por un mosaico de cristales de sal. Cuando la flor de sal no se recoge, esta empieza a crecer hasta que su peso hace caer los cristales hacia el fondo de la balsa de evaporación (y se convierte en la sal ordinaria, marina o de manantial, según donde se esté produciendo el proceso).

Sal Vacuum (o sal de mesa común): Este tipo de sal es la más común en los supermercados y la más económica, pero la menos apreciada por los chefs. Es la sal más procesada, refinada y producida industrialmente mediante un sistema de evaporación forzada en cámaras de vacío sometidas a alta presión y temperatura. Estas sales, además, suelen contener aditivos antiapelmazantes y antihumedad, y otros complementos (yodo, ...).

Existen muchos otros tipos de sal, como la sal Maldon, sal Negra, sal volcánica, ... Actualmente, la sal de mesa se ha convertido en un producto muy apreciado en la alta cocina, llegándose a seleccionar tipos de sales concretas para determinados cocinados o alimentos.

Microplásticos en la sal de mesa

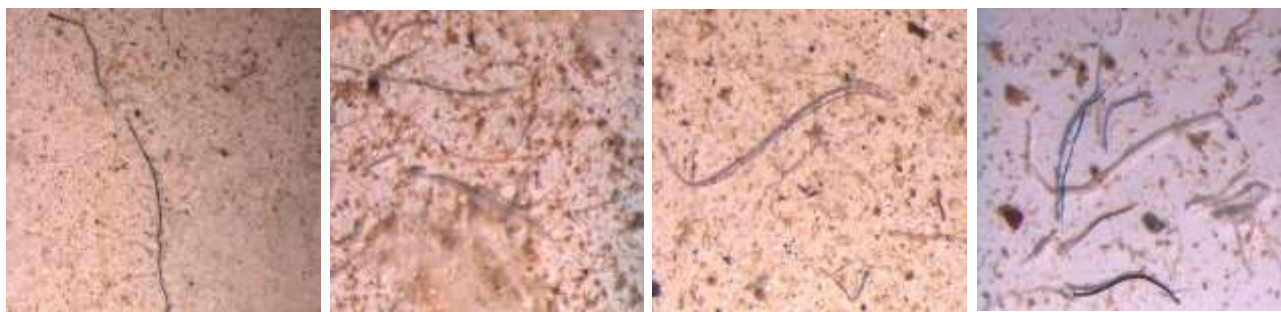
La presencia de microplásticos en los sistemas naturales ya es un hecho, y sin duda, el mar es uno de los medios más contaminados en plásticos (desde mesoplásticos hasta nanoplásticos). Puesto que la sal de mesa se extrae con frecuencia a partir de la evaporación de agua marina e inducción a la cristalización de la sal en solución, no es extraño extrapolar que la sal de mesa también contiene estas partículas plásticas.

Son muchos los trabajos científicos que han analizado la sal de mesa y todos han concluido que la mayor parte de muestras contienen microplásticos. La sal de mina es la que menos contaminada se presenta, puesto que se trata de rocas geológicas, y las partículas que contiene son añadidas durante la manufactura y empaquetado de la sal.

La flor de sal es el producto más contaminado, puesto que se trata de los primeros cristales que flotan en la superficie, y por lo tanto, están influidos también por los microplásticos y micropartículas transportadas por el aire y que caen sobre la salmuera (se suman, por lo tanto, a la propia contaminación que ya contiene la salmuera).

No existe un acuerdo unánime si la sal marina y la sal de manantial presentan rangos diferentes de contaminación, pero sí que se ha detectado contaminación en ambas.

La morfología de las partículas contaminantes que se encuentra en las sales de mesa es mayoritariamente del tipo microfibras, y son más excepcionales otras morfologías, como bolas, fragmentos, ... Las microfibras pueden ser de plástico, pero también pueden ser textiles (algodón, lino, ...) o de composición mixta plástica-textil.



La figura presenta algunos ejemplos de microfibras separadas de diferentes muestras de sal de mesa. Las partículas no fibrosas corresponden principalmente a fragmentos minerales que acompañan la sal.

Consideraciones sobre los filtros usados en el experimento

Una vez diseñado el experimento, y entendiéndolo que en realidad es tan sencillo como disolver la sal, filtrar y observar el residuo insoluble en agua, se deben matizar algunos aspectos concretos relativos a los filtros usados para el filtrado y separación de la fracción insoluble.

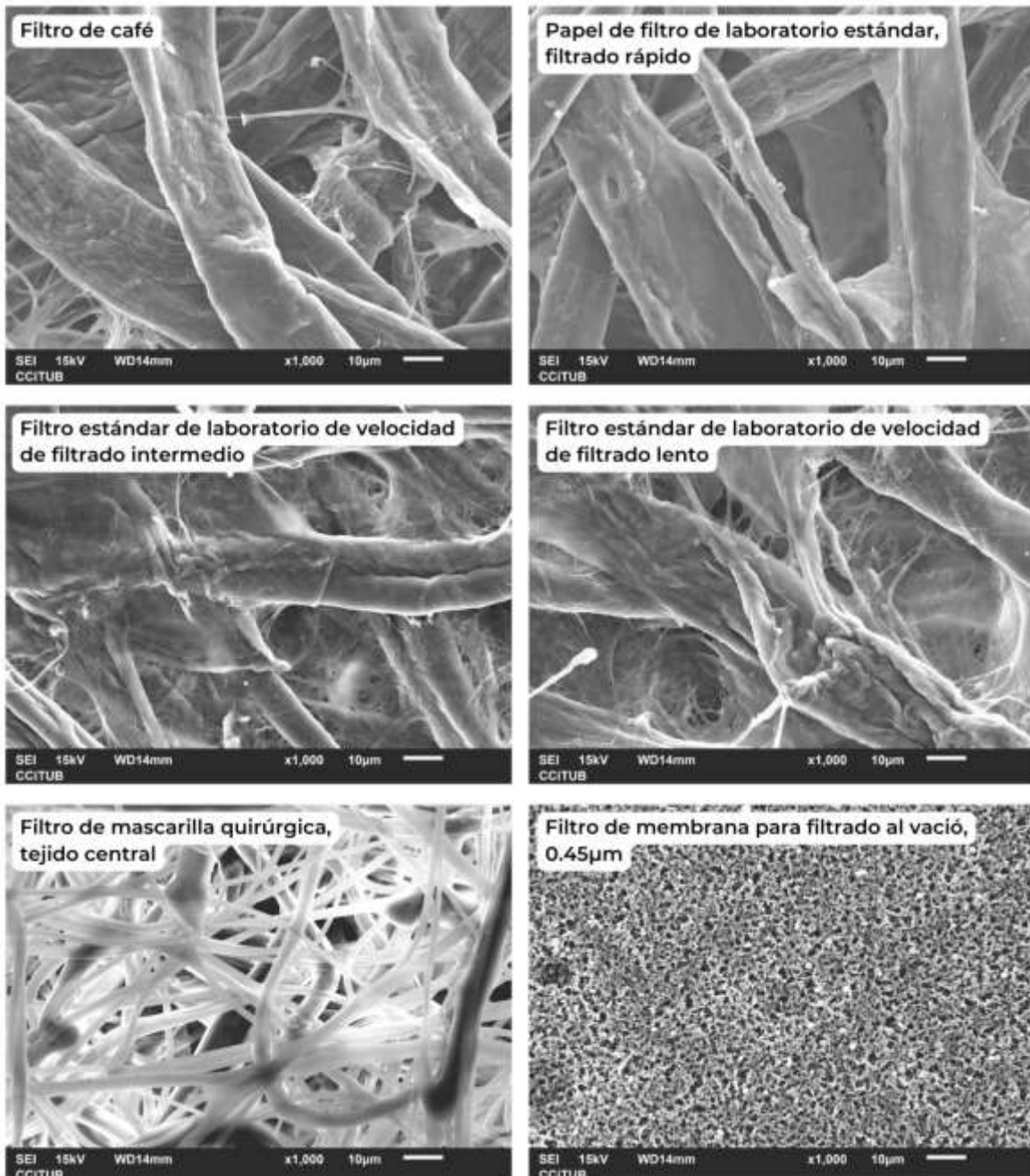
Se pueden disponer de diferentes tipos de filtros, que pueden ser, de mayor a menor diámetro de poro:

- **Filtro de café:** este es el filtro más básico que puede estar disponible para cualquier usuario, y que puede adquirirse en supermercados. Es, por el contrario, el menos recomendado, puesto que el diámetro de poro es amplio y con toda seguridad no retendrá durante el filtrado una parte importante de las partículas no solubles. No es una buena opción para un filtrado al vacío, pero puede ser usado para el filtrado por gravedad.
- **Filtro estándar de laboratorio (papel de filtro):** este papel de filtro está disponible en cualquier centro docente que disponga de laboratorio químico y es muy asequible. No es una buena opción para un filtrado al vacío, pero puede ser usado para el filtrado por gravedad. Igual que el filtro de café, no retendrá una parte de los microplásticos.
- **Filtros de laboratorio de diferentes velocidades de filtrado:** estos filtros se venden ya cortados y son de mejor calidad que el filtro de laboratorio. No serán aptos para filtrado al vacío, pero sí por gravedad. Dependiendo de la calidad y el tamaño de poro, el filtrado será más o menos rápido y retendrá más o menos partículas.
- **Filtro de la mascarilla quirúrgica:** las mascarillas quirúrgicas contienen un filtro central de TNT (tejido-no-tejido), y que son el filtro que retiene las micropartículas de spray y que nos protegen. Si se recorta una mascarilla se puede recuperar esta parte central y usarla como filtro para filtrado al vacío (en sustitución de los filtros de membrana). Son filtros disponibles para cualquier centro educativo y que aun teniendo el tamaño de poro mucho mayor que los filtros de membrana, ofrecen relativamente buenos resultados en la

experimentación y son aptos para el filtrado al vacío. Son la opción que se presenta como adecuada, atendiendo a la relación calidad-precio.

- **Filtro de membrana:** estos filtros son la mejor opción puesto que tienen un diámetro del poro de $0,45 \mu\text{m}$, o incluso menor, y son la tipología de filtro usada para filtrados al vacío, pero no apto para filtrado por gravedad. Sin embargo, estos filtros son caros y probablemente no disponibles en los centros educativos.

La siguiente figura presenta imágenes de los diferentes filtros considerados observados con el microscopio electrónico de barrido, con el fin de determinar el tipo y tamaño de poro. Se puede observar que el filtro de café, seguido del papel de filtro estándar son los que tienen el tamaño de poro mayor, y el de membrana, el menor, a bastante distancia de los anteriores.



ACTIVIDAD: MICROPLÁSTICOS EN SALES DE MESA

Se recomienda trabajar en grupos-base de 4-5 personas. A continuación, se detalla el desarrollo de la actividad según el grado académico del alumnado.

CONSIDERACIONES GENERALES: PROTOCOLOS DE LABORATORIO

Se han preparado dos manuales de instrucciones para profesorado y alumnado, ilustrando los distintos pasos que se deben seguir para llevar a cabo la cuantificación de microplásticos en sales de mesa. La diferencia entre ambos manuales son el grado académico del alumnado al que va dirigido y/o el tipo de laboratorio químico de que dispone el centro educativo. Los manuales están traducidos al castellano, catalán e inglés, y se pueden descargar en <http://www.ub.edu/sedimentary-geology/microplastics-salt>, o escaneado el siguiente QR.



Los manuales son:

- **Manual de Instrucciones gráfico para laboratorio casero:** este manual va dirigido a alumnado de educación primaria de 10-11 años, a aquellos centros educativos que no disponen de un laboratorio químico o a cualquier persona interesada que quiera realizar el experimento con materiales sencillos y disponibles en cualquier hogar.
- **Manual de Instrucciones gráfico para laboratorio de centro educativo:** este manual va dirigido a alumnado de educación secundaria (12-16 años) y bachillerato (17-18 años), y también incluye una sección con un protocolo ligeramente modificado, para aquellos centros educativos que tienen un laboratorio químico desprovisto de ciertos materiales.

Ambos manuales están estructurados en 5 partes, donde se ilustra cómo debemos preparar del laboratorio, el material que necesitaremos, el procedimiento, las observaciones y resultados, y, finalmente, una versión modificada del protocolo de laboratorio (a considerar solo si no se dispone de algún material requerido para el protocolo estándar).

Se recomienda usar distintos tipos de muestras de sales de mesa. El profesor puede elegir tres tipos de sales de mesa, en función a su origen (marina, de manantial o de mina), proporcionando un nuevo campo de reflexión sobre la cantidad de microplásticos según el origen de la muestra de sal. Además, se pueden escoger sales

que sean de zonas de proximidad del centro educativo, o bien sales conocidas o de moda, como es el caso de la sal del Himalaya. Si se escogen sales refinadas se puede evaluar si el proceso industrial de precipitación de la sal incorpora o no microplásticos. Otra variable que puede ser estudiada es la tipología de empaquetado de la sal (plástico, cartón, latas metálicas, ...), escogiendo sales iguales que se presenten en empaquetados diferentes. Finalmente, también puede evaluarse el propio proceso de laboratorio para el estudio de los microplásticos en la sal, e investigar si se está introduciendo contaminación durante el manipulado de las muestras; para ello, se puede escoger una única sal y repetirla varias veces para comparar los resultados.

Como ampliación del campo de aplicación, pueden también incorporarse por ejemplo aguas de diferentes tipos: agua de grifo, agua embotellada, agua destilada.

A continuación, se detalla el desarrollo de las actividades según el grado académico del alumnado.

Educación primaria (Ciclo superior, 10 a 11 años)

En esta actividad el/la profesor/a presentará la actividad y se encargará de hacer el procedimiento del experimento siguiendo las indicaciones del protocolo del **Manual de Instrucciones gráfico para laboratorio casero** (<http://www.ub.edu/sedimentary-geology/microplastics-salt>).

La actividad consiste en preparar el laboratorio y el material para evitar contaminación durante el proceso, disolver las sales, filtrarlas y analizar las partículas retenidas en el filtro. Parte de estas partículas serán microplásticos y/o microfibras.

En este caso, el/la alumno/a rellenará de forma individual su libro de trabajo. La actividad se puede realizar en una hora, aunque es recomendable hacerla poco a poco y revisando con todos los alumnos los ejercicios finales (ver el *Libro de trabajo para el estudiantado*). Se recomienda hacer un solo tipo de sal, aunque si el profesor lo ve conveniente, también se puede realizar el experimento para distintos tipos de sal y comparar sus observaciones según cada muestra analizada.

Educación secundaria obligatoria (12 a 16 años)

En grupos-base de 2 o máximo 3 personas, el estudiantado realizará el experimento propuesto. La actividad consiste en preparar el laboratorio y el material para evitar contaminación durante el proceso, disolver las sales, filtrarlas y analizar las partículas retenidas en el filtro. Parte de estas partículas serán microplásticos y/o microfibras. De forma individual, se hará la observación y anotará los resultados en la ficha de trabajo (ver *El libro de trabajo para el estudiantado*).

El protocolo de laboratorio a seguir es el que se especifica en el **Manual de Instrucciones gráfico para laboratorio de centro educativo** (<http://www.ub.edu/sedimentary-geology/microplastics-salt>).

En esta actividad los alumnos tienen que comparar entre distintos tipos de muestras (se recomienda sal marina, sal de manantial y sal de mina). Una vez hagan sus observaciones y anoten los resultados, deberán hacer un ejercicio de síntesis y conclusión según la cantidad de microplásticos obtenida en cada tipo de muestra.

Bachillerato (17 a 18 años)

En grupos-base de 2 o máximo 3 personas, se realizará el experimento de disolver sal de mesa, filtrarla y observar los contenidos de microplásticos. Cada alumno/a, de forma individual, hará la observación y anotará los resultados en su ficha de trabajo (ver *El libro de trabajo para el estudiantado*).

El protocolo de laboratorio a seguir es el que se especifica en el **Manual de Instrucciones simplificado para laboratorio de centro educativo** (<http://www.ub.edu/sedimentary-geology/microplastics-salt>).

En esta actividad se tiene que realizar el cálculo final de la concentración de microplásticos en cada sal de mesa analizada a partir del valor absoluto de fibras que han contabilizado. Para ello hay que seguir los siguientes pasos:

- Contar el número absoluto de microplásticos (que se presentarán mayoritariamente como microfibras) de cada filtro usando una lupa binocular. Para ello, conviene mantener el filtro entre dos cristales de petri (si se extrae, se contaminará durante el contaje). Para algunas sales, el número puede ser elevado y, por lo tanto, difícil de contabilizar. Se recomienda dividir en una cuadrícula la zona que ocupa el filtro (usando un rotulador permanente sobre el cristal), y contar las partículas separadamente en cada cuadrícula.
- Repetir este proceso también en los filtros usados como control de cada muestra.
- Eliminar los microplásticos añadidos por contaminación durante el manipulado en laboratorio en cada muestra de sal. Para ello, al resultado de microplásticos contados en la sal debemos restarle el número de microplásticos que contiene el filtro de control usado en esa misma muestra.
- Recalcular el valor absoluto de microplásticos para cada muestra en unidades de concentración (número de microplásticos o microfibras por Kg de sal). Para ello, consideraremos el peso de sal que se ha disuelto y se realiza el recálculo para 1000g de sal.

También se deberá hacer una reflexión sobre el tipo de filtro y su respectivo tamaño de poro usado para el experimento, y evaluar qué filtro es el más recomendable y establecer una escala de ventajas e inconvenientes en cada tipo de filtro.

Como actividad complementaria, se pueden analizar otros parámetros o variables que pueden condicionar los resultados. Por ejemplo, estudiar si el agua usada para la disolución contiene o no microplásticos. Para ello, se debe:

- Filtrar el agua (una o varias veces) y analizar el contenido de los filtros.
- Comparar el contenido de los filtros de las aguas con el filtro de control usado durante el experimento (filtro que se sitúa al lado de la muestra mientras se procesa y que evalúa la contaminación aérea que se puede introducir en las muestras).
- Situar una parte del agua filtrada en algún punto del aula o laboratorio, expuesta a las partículas del ambiente. Se puede colocar en un plato (no plástico) y dejarla durante dos semanas sin que nadie la toque y sin cubrir. Una vez transcurrido este tiempo, filtrar y observar las partículas que ha retenido el filtro (que corresponden a contaminación aérea de la habitación).
- Anotar los resultados y hacer la reflexión de la cantidad aproximada de microplásticos aéreos que nos rodean.

RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS Y WEBGRAFÍAS

Publicaciones

Castañeta, G., Gutiérrez, A.F., Nacaratte, F., Manzano, C.A. (2020). MICROPLÁSTICOS: UN CONTAMINANTE QUE CRECE EN TODAS LAS ESFERAS AMBIENTALES, SUS CARACTERÍSTICAS Y POSIBLES RIESGOS PARA LA SALUD PÚBLICA POR EXPOSICIÓN. *Revista Boliviana de Química*, 37: 3, 160-175.

Napper, I.E., Thompson, R.C. (2016). RELEASE OF SYNTHETIC MICROPLASTIC PLASTIC FIBRES FROM DOMESTIC WASHING MACHINES: EFFECTS OF FABRIC TYPE AND WASHING CONDITIONS. *Marine Pollution Bulletin*, 112: 1-2, 39-45.

Hueso, K., Fegies, A.C., Espinosa de los Monteros, C., Blabás, M., Morales, C., Caro, R., Cledera, A.M. (2021). MICROPLASTICS IN FOOD-GRADE SALT: HOW BAD IS THE PROBLEM?. *El Alfolí*, 28, 11-19.

Recursos i pàgines web

Guías visuales sobre los protocolos de disolución, filtrado y observación de los microplásticos en sales de mesa.

<http://www.ub.edu/sedimentary-geology/microplastics-salt/>

¿Qué son los microplásticos y cómo nos afectan?: Vídeo corto sobre la problemática mediambiental de los plásticos.

<https://www.youtube.com/watch?v=nQIAakB3EvU>

Plastic Footprint Calculator (Hanna Pamula). Aplicación sencilla para el cálculo del consumo de plásticos.

<https://www.omnicalculator.com/ecology/plastic-footprint>

¿Por qué el agua del mar es salada?. Video de una actividad complementaria para Educación Primaria.

<https://www.ub.edu/ubtv/video/perque-laigua-del-mar-es-salada-experiencia-cientifica-a-laula>

Earth Learning Idea (ELI) – Innovative, Earth-related teaching ideas. Actividad relacionada con la cristalización de halita.

https://www.earthlearningidea.com/PDF/Spanish_Salt_of_Earth.pdf

Microplastics found in 90 percent of table salt, National Geographic. Noticia publicada por National Geographic.

<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/microplastics-found-90-percent-table-salt-sea-salt>

Cuando el Mediterráneo fue un desierto. Muy Interesante. Artículo sobre rocas evaporíticas, un ejemplo que ocurrió hace 5 millones de años en el Mar Mediterráneo.

<https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/cuando-el-mediterraneo-se-seco-351649778685-1>

AGRADECIMIENTOS

Proyecto financiado por National Geographic Society's COVID-19 Remote Learning Emergency Fund for Educators y el Proyecto 2020PID-UB/039. Grup Consolidat de Recerca de la Generalitat de Catalunya “Geologia Sedimentària” (2017SGR-824) y os proyectos DGICYT PID2021-122467NB-C22 y PGC2018-093903-B-C22 (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades/Agencia Estatal de Investigación /10.13039/501100011033/ Fondo Europeo de Desarrollo Regional, Unión Europea).

CONTACTO

En caso de dudas, sugerencias o propuestas de mejora, contactar con:

Dra. Vinyet Baqués vbaques@xtec.cat

Dra. Elisabet Playà eplaya@ub.edu

Dra. Irene Cantarero i_cantateror@ub.edu

Dra. Anna Travé atrave@ub.edu

Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada
Facultat de Ciències de la Terra
Universitat de Barcelona