

Microplàstics a la sal: què ingerim sense saber-ho?



Ana Dvalidze Tsakadze
Tutora: Rosa Yánez
Departament: Biologia i geologia
24/10/2025
Ins Ernest Lluch

RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la presencia de microplásticos en distintos tipos de sal de mesa (sal marina del Mediterráneo, sal marina del Atlántico y sales continentales procedentes de Cardona y del Himalaya) y analizar si existen diferencias significativas en función de su origen. Para ello se aplicó una metodología experimental basada en la disolución, filtración y observación microscópica de muestras comerciales, utilizando controles para evitar contaminaciones externas.

Los resultados obtenidos muestran que la sal marina mediterránea presenta la mayor cantidad de microplásticos (128 partículas), seguida de la sal atlántica (17 partículas), la sal del Himalaya (14 partículas) y, finalmente, la sal de Cardona (1 partícula). Estos datos confirman la hipótesis inicial de que el mar Mediterráneo, al ser un mar cerrado y con una elevada densidad de población e industria, concentra más residuos plásticos que otras fuentes salinas.

El estudio pone de manifiesto la existencia de contaminación plástica en alimentos de consumo cotidiano y la necesidad de mejorar los sistemas de control de calidad, así como reducir el uso de plásticos de un solo uso para minimizar su impacto sobre la salud humana y el medio ambiente.

Palabras claves: contaminación alimentaria, microplásticos, salud humana, sal de mesa, observación microscópica.

ABSTRACT

This research project aims to determine the presence of microplastics in different types of table salt (Mediterranean sea salt, Atlantic sea salt, and continental salts from Cardona and the Himalayas) and to analyze whether significant differences exist depending on their origin. To achieve this, an experimental methodology was applied, based on the dissolution, filtration, and microscopic observation of commercial samples, using control groups to prevent external contamination.

The results obtained show that Mediterranean sea salt contains the highest number of microplastics (128 net particles), followed by Atlantic sea salt (17 particles), Himalayan salt (14 particles), and, finally, Cardona salt (1 particle). These findings confirm the initial hypothesis that the Mediterranean Sea, being a semi-enclosed basin with a high population density and industrial activity, accumulates more plastic waste than other saline sources.

This study highlights the presence of plastic contamination in everyday food products and emphasizes the need to improve quality control systems, as well as to reduce the use of single-use plastics to minimize their impact on human health and the environment.

Keywords: food contamination, microplastics, human health, table salt, microscopic observation.

TAULA DE CONTINGUTS

Agraïments.....	3
Introducció.....	3
Objectius.....	4
Hipòtesi.....	5
1. Marc teòric.....	5
1.1 DEFINICIÓ I CLASSIFICACIÓ DELS MICROPLÀSTICS.....	5
1.1.1 QUÈ SÓN ELS MICROPLÀSTICS?.....	5
1.1.2 TIPUS DE MICROPLÀSTICS.....	5
1.1.3 CARACTERÍSTIQUES FÍSiques I QUÍMIQUES.....	6
1.2 ORIGEN I FONTS DE MICROPLÀSTICS.....	10
1.2.1 FONTS PRIMÀRIES.....	10
1.2.2 FONTS SECUNDÀRIES.....	10
1.3 ORIGEN I CARACTERÍSTIQUES DELS DIFERENTS TIPUS DE SALS.....	11
1.3.1 SAL MARINA.....	11
1.3.1.1 ORIGEN.....	11
1.3.1.2 TÈCNIQUES D'EXTRACCIÓ.....	12
1.3.2 SALS CONTINENTALS.....	16
1.3.2.2 TÈCNIQUES D'EXTRACCIÓ.....	17
1.4 EFECTES DELS MICROPLÀSTICS EN LA SALUT HUMANA.....	19
2.1 DATA I SALS TRIADES.....	21
2.2 MATERIALS I EQUIPS.....	22
2.3 PREPARACIÓ DEL LABORATORI.....	22
2.4 FILTRACIÓ DE L'AIGUA.....	23
2.5 PREPARACIÓ DE LA DISSOLUCIÓ.....	23
2.6 FILTRACIÓ DE LA DISSOLUCIÓ I CONSERVACIÓ DE FILTRES.....	24
2.7 OBSERVACIÓ MICROSCÒPICA.....	25
3. Conclusions.....	27
4. Webgrafia.....	29
5. Annexos.....	36
ANNEX 1. RECOMPTE MICROPLÀSTICS TOTALS HIMÀLAIA.....	36
ANNEX 2. RECOMPTE MICROPLÀSTICS TOTALS SAL DE CARDONA.....	39
ANNEX 3. RECOMPTE MICROPLÀSTICS TOTALS SAL DE GUÉRANDE.....	40
ANNEX 4. RECOMPTE MICROPLÀSTICS TOTALS SAL COSTA.....	42
ANNEX 5. RECOMPTE MICROPLÀSTICS TOTALS AIGUA AIXETA.....	48
ANNEX 6. CÀLCULS PER AL CAS HIPOTÈTIC.....	49

Agraïments

Vull expressar el meu més sincer agraïment a la meva tutora del treball de recerca, Rosa Yáñez, per la seva dedicació, suport i orientació constant durant tot el procés. Gràcies a la seva intervenció i a la seva iniciativa de posar-se en contacte amb els experts de la Universitat de Barcelona, vaig poder dur a terme l'experiment amb totes les condicions necessàries.

També vull agrair a les integrants de la Facultat de Ciències de la Terra de la UB, la Dra. Irene Cantarero, la Dra. Anna Travé i la Dra. Vinyet Baqués, per la seva col·laboració en la realització de l'experiment i per proporcionar-me els materials necessaris. Sense la seva ajuda, aquesta part pràctica del treball no hauria estat possible.

Introducció

En els darrers anys, la contaminació per microplàstics s'ha convertit en una de les problemàtiques ambientals i de salut pública més preocupants. Aquestes partícules diminutes, de menys de 5 mm, s'han detectat en entorns molt diversos com oceans, rius, sòls i fins i tot en productes que consumim diàriament, com ara l'aigua embotellada, el peix o la sal de taula. La seva presència en aliments de consum habitual genera un gran debat sobre els possibles efectes que poden tenir en la salut humana i en els ecosistemes, així com sobre la capacitat actual de la ciència i la indústria per fer-hi front.

Vaig començar a interessar-me per aquest tema arran d'una notícia que vaig llegir sobre la presència de microplàstics a la sal de cuina, un ingredient que utilitzem gairebé cada dia a casa. Aquell article em va impactar i em va fer plantejar una pregunta que ha esdevingut el motor del meu treball: què estem ingerint realment quan mengem aliments aparentment segurs? A partir d'aquell moment, vaig voler entendre millor aquest fenomen i, sobretot, comprovar si realment aquestes partícules són presents en les sals que comprem al supermercat. Aquesta curiositat personal, unida al meu interès per la ciència i pel medi ambient, m'ha portat a triar aquest tema com a eix central del meu treball de recerca.

Aquest treball té com a objectiu principal determinar la presència de microplàstics en diferents tipus de sal de taula (sal marina del Mediterrani, sal marina de l'atlàntic i sal procedent de fonts subterrànies) i analitzar si hi ha diferències en la seva concentració segons l'origen del producte. A més, pretén explorar els possibles efectes d'aquests materials en el cos humà i en el medi ambient, així com les mesures que es podrien prendre per reduir-ne la presència dins la cadena alimentària.

Per aconseguir-ho, combinaré una revisió bibliogràfica amb una part experimental. En la part teòrica, estudiaré les fonts d'origen de la sal, les conseqüències potencials de la ingestió de microplàstics i els mètodes actuals per detectar-los. Aquesta anàlisi em permetrà formular una hipòtesi sobre quin tipus de sal podria contenir més microplàstics. En la part pràctica,

realitzaré experiments per identificar i quantificar aquestes partícules en mostres comercials, emprant tècniques de dissolució, filtració i observació microscòpica.

Amb aquest treball, vull contribuir a fer visible una problemàtica sovint imperceptible, però amb conseqüències potencialment greus. A través de la recerca i l'anàlisi crítica, espero fomentar la consciència sobre la contaminació per plàstics, impulsar el debat sobre la qualitat dels aliments i, en última instància, promoure canvis cap a un consum més responsable i una producció més segura.

Global plastics production

Annual production of polymer resin and fibers.

Our World
in Data

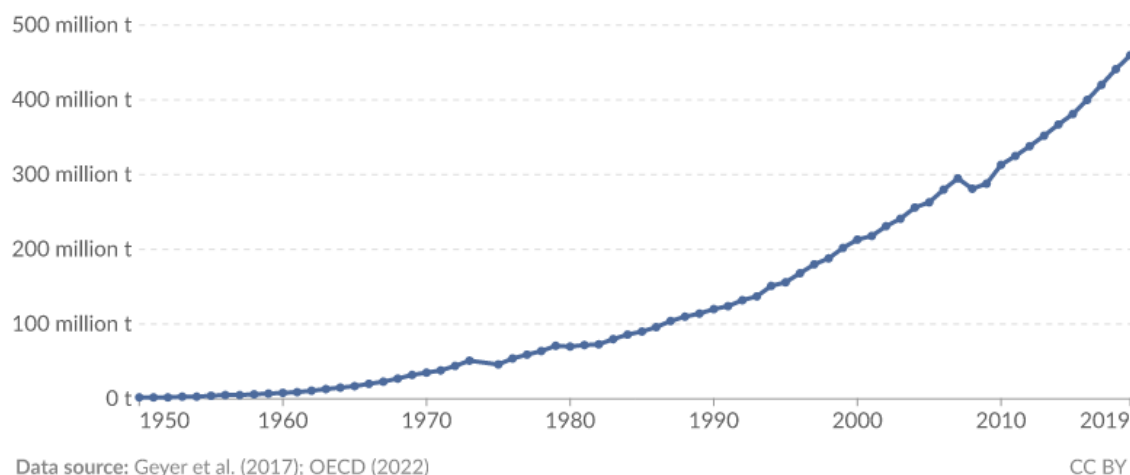


Figura 1: : Evolució de la producció global de plàstics des del 1950 fins el 2019. **Font:** El Blog del Búho (27 de juny del 2019).

Objectius

Els objectius d'aquest treball són els següents:

- Determinar la presència i quantitat de microplàstics en diferents tipus de sal de taula (sal marina i sal de fonts subterrànies) mitjançant una metodologia experimental pròpia basada en tècniques de dissolució, filtració i observació microscòpica.
- Comparar la concentració de microplàstics segons l'origen de la sal per analitzar si existeixen diferències significatives entre els diversos tipus comercials disponibles al mercat.
- Investigar els possibles efectes dels microplàstics en la salut humana i el medi ambient, mitjançant una revisió bibliogràfica de fonts científiques actuals i rellevants.
- Explorar les tècniques existents per a la detecció i identificació de microplàstics en aliments, valorant-ne la fiabilitat, l'accessibilitat i les limitacions.
- Fomentar la conscienciació social sobre la contaminació invisible dels aliments i reflexionar sobre la necessitat de regulacions més estrictes per garantir la seguretat alimentària i reduir la presència de plàstics en la cadena alimentària.

- Difondre els resultats obtinguts d'una manera clara i entenedora a través de gràfics, infografies o altres recursos visuals per facilitar la comprensió del problema a un públic no especialitzat.

Hipòtesi

La sal marina recollida al mar Mediterrani presentarà una major concentració de microplàstics en comparació amb la sal marina oceànica i amb les sals continentals, ja que el Mediterrani és un mar tancat amb menor renovació d'aigües i major densitat de població i d'activitat industrial a les seves costes, cosa que afavoreix l'acumulació de plàstics.

En canvi, la sal marina atlàntica estarà menys exposada a aquesta acumulació i les sals continentals, especialment les procedents de jaciments fòssils com la de Cardona, haurien d'estar pràcticament lliures de microplàstics excepte contaminació posterior durant el processament.

1. Marc teòric

1.1 DEFINICIÓ I CLASSIFICACIÓ DELS MICROPLÀSTICS

1.1.1 QUÈ SÓN ELS MICROPLÀSTICS?

Els microplàstics són partícules sòlides de plàstic amb una mida inferior a 5 mil·límetres, segons la definició estàndard de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Aquesta categoria inclou fragments, fibres o microesferes que es dispersen al medi ambient a través de fonts naturals i antropogèniques. La seva composició química varia àmpliament, ja que poden derivar de qualsevol mena de plàstic, com ara polietilè (PE), polipropilè (PP) o policlorur de vinil (PVC), i solen contenir additius com ftalats, pigments o estabilitzants que en modifiquen les propietats. La seva resistència a la degradació, deguda a l'estructura molecular dels polímers (cadena llarga de monòmers units per enllaços covalents), els converteix en contaminants persistents que s'acumulen en ecosistemes i organismes.

1.1.2 TIPUS DE MICROPLÀSTICS

Els microplàstics es classifiquen en dos grans grups segons el seu origen: primaris i secundaris. Els microplàstics primaris són aquells fabricats intencionadament amb dimensions microscòpiques per a ús industrial o comercial. Aquests inclouen microperles utilitzades en productes cosmètics (exfoliants, dentífrics), microfibrilles despreses de teixits

sintètics durant el rentament de roba, o pèl·lets utilitzats com a matèria primera en la fabricació d'objectes de plàstic. D'altra banda, els microplàstics secundaris s'originen a partir de la degradació física, química o biològica de plàstics més grans, com bosses, ampolles o xarxes de pesca, que es fragmenten per l'acció de la radiació ultraviolada, l'erosió marina o l'abrasió mecànica. Aquest procés genera partícules cada vegada més petites, inclosos els nanoplàstics (<1 micra), que poden persistir durant segles al medi ambient.

1.1.3 CARACTERÍSTIQUES FÍSIQUES I QUÍMIQUES

a) Físicament, aquestes partícules poden presentar una gran varietat de formes, com ara:

- **(1) Fragments rígids:** petits trossos procedents de la fragmentació de plàstics més grans per acció de l'erosió, la llum solar i l'aigua.
- **(2) Films:** làmines molt fines, habitualment provinents d'envasos o embolcalls.
- **(3) Pèl·lets:** petites boles rodones o lenticulars, matèria primera per a la fabricació de productes plàstics.
- **(4) Grànuls:** Petites partícules sòlides de plàstic amb forma aproximadament esfèrica o irregular, generalment de menys de 5 mm de diàmetre
- **(5) Fibres:** fils sintètics provinents de teixits o cordes, molt habituals en mostres ambientals.
- **(6) Fragments esponjosos:** partícules amb tacte esponjós, sovint provinents de porexpan o gomes.

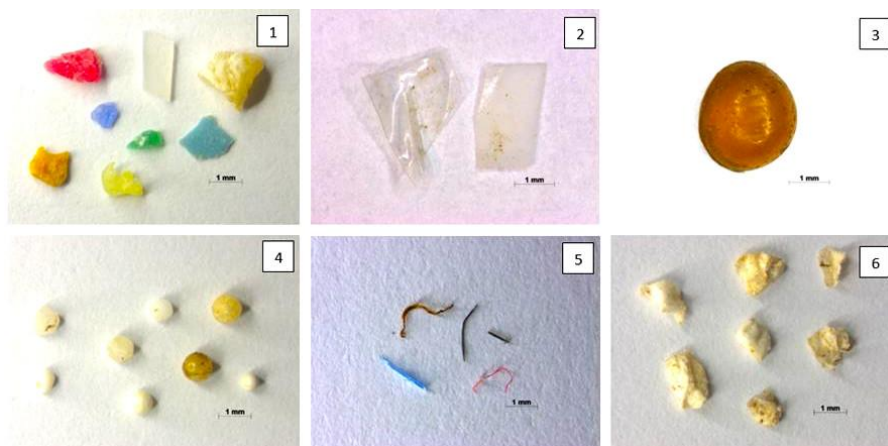


Figura 2: Imatges de microplàstics segons les seves formes. **Font:** Fundació RAED (des 3, 2021)

La seva densitat varia segons el polímer del qual estan formats. Els polímers de baixa densitat (com el polietilè de baixa densitat, LDPE, o el polipropilè, PP) tendeixen a surar, mentre que els d'alta densitat (com el PET o el PVC) tendeixen a enfonsar-se als sediments. Tanmateix, la densitat pot canviar per l'envelliment o per l'adhesió d'organismes a la seva superfície (ecocorona), cosa que pot fer que fins i tot els microplàstics lleugers acabin als sediments.

b) Químicament, els microplàstics estan formats per la polimerització de monòmers, un procés químic pel qual els reactius (monòmers), compostos per un baix pes molecular

s'agrupen químicament entre si, donant lloc al polímer, o bé una cadena lineal o una molècula tridimensional. Poden ser per addició o condensació:

- Per **addició**: procés al qual reaccionen monòmers bifuncionals que, progressivament, van afegint unitats a la cadena principal, i proporcionen macromolècules que són múltiples del monòmer original.
- Per **condensació**: procés de formació de cadenes mitjançant la reacció química de cadenes més petites o monòmers polifuncionals, i que proporcionen molècules petites com a subproducte (H_2O , HCl , etc.).

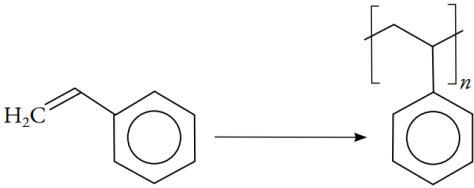
Un altre criteri de classificació dels materials polímers es basa en la seva resposta mecànica davant la temperatura, i que permet distingir polímers termoplàstics, termoestables i elastomèrics, atenent als comportaments següents:

- **Termoplàstics**: la seva duresa i resistència disminueix amb l'augment de la temperatura (poden arribar a ser un fluid) i endureixen amb el refredament, de manera reversible, tot permetent el seu conformat per emmotllament. Poden arribar a convertir-se en un fluid. Les seves estructures són generalment linials i/o ramificades. La gran majoria han polimeritzat per addició (PE, PVC, PP), si bé n'hi ha alguns que provenen de processos de condensació (PA, PET). Són, en general, poc rígids i poc resistents, però presenten valors elevats de ductilitat i tenacitat.
- **Termoestables**: són polímers amb estructura reticulada/entrecreuada, que reticulen amb increment de temperatura i guanyen duresa durant aquest procés. No s'estoven amb la temperatura i no poden fluir per ser conformats per emmotllament. La gran majoria són polímers de condensació (resines). Són, generalment, rígids i resistents però presenten valors baixos o nuls de ductilitat i poca tenacitat (fràgils).
- **Elastòmers**: formats per cadenes moleculars amb molta llibertat de moviment molecular (flexibilitat), es deformen notablement a temperatura ambient, però amb gran capacitat de recuperar la forma i dimensions inicials (comportament gomós).

Els principals tipus de polímers presents en els microplàstics són:

- ⚗ **PET i ⚗ PA (polimerització per condensació)**: Es forma un enllaç èster (PET) o un enllaç amida (PA), per tant, hi ha pèrdua d'àtoms (en forma d'aigua en aquests casos).
- ⚗ **HDPE, ⚗ PVC, ⚗ LDPE, ⚗ PP i ⚗ PS (Polimerització per addició)**: No hi ha pèrdua d'àtoms del monòmer (està insaturat) quan forma el polímer.

Tipus de plàstic	Propietats	Usos	Fórmula molecular
Polietilè tereftalat (PET)	Alta transparència, admissió de colorants, resistent, lleuger, impermeable, fàcilment reciclable.	Ampolles, envasos per aliments, fibres tèxtils, usos farmacèutics.	El PET està format per unitats de (C ₁₀ H ₈ O ₄) repetides: $\text{HOOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COOH} + \text{HOCH}_2-\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \left(\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O} \right)_n + 2n \text{H}_2\text{O}$ àcid tereftàlic etilenglicol polietilètereftalat (PET) aigua
Poliamides (PA)	Alta resistència química, mecànica i tèrmica. És lleuger, és estable i absorbeix poc la humitat.	Maquinària industrial, peces de motor, connectors elèctrics, indústria tèxtil.	S'obté per la policondensació de l'àcid adípic i l'hexametilendiamina, dos monòmers cadascun de 6 carbonis: $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH} + \text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2 \rightarrow \left[\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-\text{C}(=\text{O})-(\text{CH}_2)_4-\text{C}(=\text{O}) \right]_n$ àcid adípic hexametilendiamina niló 66
Polietilè d'alta densitat (HDPE)	Alta resistència química i tèrmica, resistent als impactes, flexible amb rigidesa, lleuger, impermeable.	Alta resistència química i tèrmica, resistent als impactes, flexible amb rigidesa, lleuger, impermeable.	L'HDPE està format per unitats de (CH ₂ -CH ₂) repetides: $\left(\text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right)_n$
Polietilè de baixa densitat (LDPE)	Alta resistència química, tèrmica i als impactes, flexible, transparent (en funció del gruix), impermeable.	Film transparent, bosses de supermercat o d'escombrari e, envasos de plàstic tou.	El LDPE està format per unitats de (CH ₂ -CH ₂) repetides: $\left(\text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right)_n$

Policlorur de vinil (PVC)	Dur i rígid, alta resistència química i ambiental, resistència a la corrosió, en dubte la seva toxicitat per la salut i medi ambient.	Material de construcció, canonades, revestiment de cables, targetes de crèdit, pells sintètiques.	$ \begin{array}{ccccccc} & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} \\ & & & & & & & & & \\ - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - \\ & & & & & & & & & \\ & \text{Cl} & & \text{H} & & \text{Cl} & & \text{H} & & \text{Cl} \end{array} $
Polipropilè (PP)	Alta resistència química i tèrmica, fàcilment modelable, estabilitat tèrmica.	Construcció, indústria automobilística, envasos per aliments, carmanyoles, tapes d'envasos, palletes per beure.	El PP està format per unitats de (CH₃CH – CH₂) repetides: $ \left(\text{CH}_2 - \underset{\begin{array}{c} \\ \text{CH}_3 \end{array}}{\text{CH}} \right)_n $
Poliestirè (PS)	Bon aïllant tèrmic i elèctric, en dubte la seva toxicitat per la salut i medi ambient.	Vasos per begudes calentes, embalatges, porexpan, aïllament d'edificis.	El PS està format per unitats de (C₈H₈) repetides: 
Altres	Mescla de diferents plàstics restants, molt difícilment reciclables. Exemples: (PMMA, PC, PUR, PTFE, etc.)	Electrodomèstics, articles electrònics, CDs, envasos d'ús mèdic.	

Taula 1: Propietats i usos en funció del tipus de resina segons el RIC. **Font:** Propi.

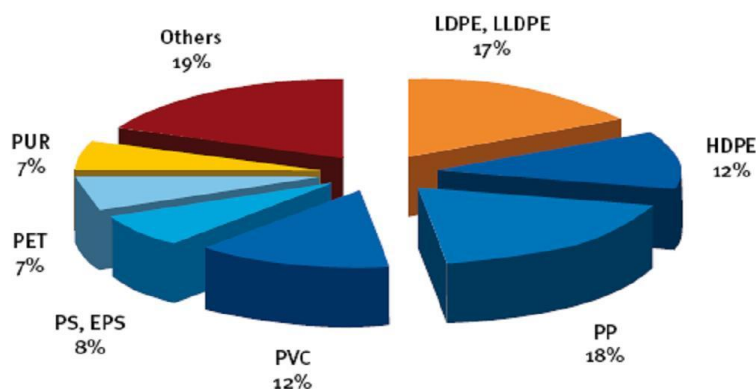


Figura 3: Classificació dels materials polímers en base a la seva composició química i al seu volum de consum a nivell mundial. Font: <https://tecnologiaisostenibilitat.upc.edu/continguts/materials/4.-materials-polimers.html>

1.2 ORIGEN I FONTS DE MICROPLÀSTICS

Els microplàstics, considerats una de les principals amenaces emergents per a la salut ambiental i humana, poden arribar a la sal de taula a través de diferents vies, estretament relacionades amb l'origen i el procés d'obtenció de la sal. Les fonts d'aquests microplàstics es classifiquen habitualment en primàries i secundàries, però la seva presència final en la sal depèn sobretot del medi d'on s'extreu el producte i de la capacitat dels processos industrials per eliminar-ne les impureses.

1.2.1 FONTS PRIMÀRIES

Les fonts primàries de microplàstics són aquelles en què les partícules es fabriquen ja amb una mida inferior a 5 mm. Aquestes partícules poden arribar als oceans i, per tant, a la sal marina, a través de l'abocament d'aigües residuals que contenen microesferes de cosmètics, fibres sintètiques procedents del rentament de roba o pèl·lets industrials. Aquestes partícules, a causa de la seva mida minúscula, sovint escapen als sistemes de depuració i acaben acumulant-se als ecosistemes marins. Així, la sal marina, obtinguda per evaporació de l'aigua de mar, queda exposada directament a la contaminació per microplàstics presents a l'oceà, que poden quedar atrapats en els cristalls durant el procés d'evaporació i recollida.

1.2.2 FONTS SECUNDÀRIES

Les fonts secundàries de microplàstics deriven de la fragmentació de plàstics més grans, com ara bosses, ampelles, xarxes de pesca o envasos, que es degraden lentament per l'acció de la llum solar, les onades i altres factors ambientals. Aquest procés genera una gran quantitat de fragments minúsculs que es dispersen per tota la columna d'aigua i acaben dipositant-se al fons marí o mantenint-se en suspensió. Aquests fragments també poden ser incorporats als processos de producció de sal marina, ja que la matèria primera (l'aigua de mar) està contínuament exposada a la contaminació plàstica global.

En canvi, la sal de roca o sal procedent de fonts subterrànies (també coneguda com a sal continental) té un origen geològic molt diferent. Aquesta sal s'extreu de jaciments subterranis

formats fa milions d'anys, quan antics mars es van evaporar i van deixar grans dipòsits de sal sota terra. La sal de roca es pot obtenir mitjançant mineria tradicional (extracció de blocs sòlids) o dissolució i posterior evaporació de l'aigua salina subterrània. En teoria, aquests dipòsits haurien d'estar lliures de microplàstics, ja que es van formar molt abans de l'aparició del plàstic com a material industrial. No obstant això, la contaminació pot introduir-se durant el processament, l'envasament o el transport, o bé si les aigües subterrànies utilitzades en el procés estan contaminades amb microplàstics moderns.

1.3 ORIGEN I CARACTERÍSTIQUES DELS DIFERENTS TIPUS DE SALS

Els diferents tipus de sals que es consumeixen habitualment tenen orígens i característiques molt diverses, fet que no només influeix en el gust i la composició mineral del producte final, sinó també en la seva vulnerabilitat a la contaminació per microplàstics. Per comprendre la possible presència d'aquestes partícules és fonamental analitzar els processos d'obtenció i altres factors dels tres principals sals: sal marina i sal de fonts subterrànies.

1.3.1 SAL MARINA

1.3.1.1 ORIGEN

L'origen de la sal marina es troba en la constant dissolució de minerals salins presents a les roques de l'escorça terrestre, un procés conegut com a meteorització química. Aquest fenomen s'inicia quan l'aigua de pluja, lleugerament àcida per la presència de diòxid de carboni (CO_2) dissolt que forma àcid carbònic (H_2CO_3) en petites concentracions, entra en contacte amb les roques i provoca la descomposició dels seus components minerals. Com a resultat, s'alliberen ions, principalment sodi (Na^+), així com altres ions com magnesi (Mg^{2+}), calci (Ca^{2+}), potassi (K^+) i sulfats (SO_4^{2-}), que contribueix a la composició química global de l'aigua marina.

Aquests ions dissolts són transportats a través de rius, rierols i torrents fins a arribar als mars i oceans. A causa del cicle hidrològic, l'aigua pot evaporar-se i retornar en forma de precipitació, però la sal roman dissolta als oceans, i per això manté un equilibri dinàmic relativament estable en la seva concentració.

En determinades zones costaneres, especialment en regions de clima càlid, elevada insolació i baixa precipitació, l'aigua de mar pot quedar atrapada en depressions naturals o estructures artificials conegudes com a salines. Aquestes instal·lacions estan formades per una sèrie de basses poc profundes connectades de manera que l'aigua circula progressivament cap a sectors on la concentració salina augmenta. L'energia solar i l'acció del vent acceleren el procés d'evaporació, i a mesura que disminueix el volum d'aigua, la solució esdevé cada cop més saturada en sals. Aquest procés comporta una precipitació fraccionada: primer es dipositen sals menys solubles, com el carbonat de calci (CaCO_3) o el sulfat de calci (CaSO_4) i finalment, quan la concentració d'ions Na^+ i Cl^- assoleix el punt de saturació, es forma clorur de sodi (NaCl) cristal·lí.

1.3.1.2 TÈCNIQUES D'EXTRACCIÓ

Captació d'aigua de mar i procés d'evaporació

L'extracció de la sal marina és un procés que comença amb la captació d'aigua de mar, que es canalitza cap a una sèrie de basses poc profundes anomenades cristal·litzadors o estanys de sal. Aquestes basses estan dissenyades de manera que permeten una evaporació progressiva d'aigua, aprofitant l'acció combinada de sol i vent. A mesura que l'aigua es va evaporant, la concentració de sals dissoltes augmenta fins que s'assoleix el punt de saturació, moment en què la sal comença a precipitar i a cristal·litzar al fons de les basses.

Aquest procés, conegut com a evaporació solar controlada, és la tècnica més estesa i eficient a les regions mediterrànies i atlàntiques d'Europa, on el clima càlid i assolellat afavoreix una evaporació natural ràpida i constant. Les salines modernes han incorporat sistemes de control automàtic que permeten regular el flux d'aigua, la profunditat de les basses i la recollida de la sal, millorant així l'eficiència i la qualitat del producte final.

Aquests sistemes inclouen sensors i dispositius de monitoratge que controlen en temps real la concentració salina, el nivell d'aigua i les condicions meteorològiques, permetent ajustar el procés d'extracció per minimitzar les pèrdues i garantir la traçabilitat del producte.

Extracció subterrània mitjançant pous i bombeig

En algunes zones on la concentració de sal a l'aigua subterrània és elevada, s'utilitza una tècnica alternativa basada en l'extracció mitjançant pous i bombeig. Aquesta tècnica consisteix a perforar pous per extreure aigua salada, anomenada salmorra, que després es trasllada a basses d'evaporació similars a les de les salines costaneres.

El bombeig es realitza amb màquines elèctriques o hidràuliques, i permet una producció més constant i menys dependent de les condicions meteorològiques. En alguns casos, per accelerar el procés d'evaporació, es poden utilitzar sistemes de calefacció o ventilació forçada, especialment en regions amb un clima menys favorable o durant períodes de baixa insolació.

Cristal·lització forçada en instal·lacions industrials

A les instal·lacions industrials més avançades, s'apliquen tècniques de cristal·lització forçada, que consisteixen a concentrar la salmorra mitjançant evaporadors mecànics o tèrmics abans de passar-la als cristal·litzadors.

Aquest mètode permet obtenir una sal d'alta puresa i controlar millor la mida dels cristalls, ja que l'evaporació es produeix en condicions òptimes de temperatura i pressió. Els evaporadors de buit són especialment eficients, ja que redueixen la pressió dins del sistema i afavoreixen l'evaporació a temperatures més baixes, amb l'estalvi energètic que això comporta.

Els cristal·litzadors mecànics permeten una recollida contínua i automatitzada de la sal, la qual cosa incrementa la productivitat i redueix la necessitat de mà d'obra manual.

Recol·lecció, rentat i tractament de la sal

Tot i la mecanització creixent, moltes salines europees, especialment aquelles que produeixen sal gourmet com la flor de sal, mantenen una part important de la recol·lecció manual. En aquests casos, s'utilitzen eines tradicionals com rascles i pales de fusta o plàstic per arrossegar i recollir la sal cristal·litzada de la superfície dels estanys. Aquesta recol·lecció manual permet preservar la delicadesa dels cristalls i garantir una qualitat superior del producte final.

A més, la manipulació manual facilita la selecció de la flor de sal, que es forma a la superfície de l'aigua en condicions molt específiques de temperatura, humitat i absència de vent. Aquesta sal, considerada un producte gourmet, es recull amb molta cura i sovint s'envasa de manera artesanal.

Després de la recol·lecció, la sal passa per diversos processos de tractament per tal d'obtenir un producte apte per al consum i d'alta qualitat. El primer pas és el rentat de la sal bruta, que consisteix a eliminar impureses sòlides, restes d'algues, sorra i altres materials que poden haver quedat barrejats amb la sal durant la recol·lecció. El rentat es realitza habitualment amb aigua dolça o aigua marina neta, mitjançant operacions mecàniques que assegurin una neteja eficient.

Un cop rentada, la sal es sotmet a un procés d'assecat per eliminar l'excés d'humitat. Aquest assecat pot ser natural, aprofitant el sol i el vent, o bé industrial, utilitzant forns o sistemes de ventilació forçada. L'objectiu és reduir el contingut d'aigua per facilitar l'emmagatzematge i el transport, i evitar la formació de grumolls.

Després de l'assecat, la sal es tritura i es tamisa per obtenir la granulometria desitjada segons l'ús final, ja sigui sal fina, gruixuda o flor de sal. Aquest procés es realitza amb màquines específiques que permeten separar els diferents calibres de cristalls de sal.

Processos físics i químics implicats

Els processos físics i químics implicats en l'extracció de la sal marina són fonamentalment l'evaporació de l'aigua de mar, la cristal·lització del clorur de sodi i la precipitació d'altres sals menys solubles com el sulfat de calci.

L'evaporació és un procés físic que es produeix quan l'energia solar i el vent provoquen la pèrdua progressiva d'aigua, incrementant la concentració de sals dissoltes fins que es supera la solubilitat i la sal precipita. La cristal·lització és també un procés físic, ja que la sal passa de l'estat dissolt a l'estat sòlid sense alterar-ne la composició química. Durant el procés, poden tenir lloc reaccions químiques menors, especialment quan altres ions presents a l'aigua de mar formen sals menys solubles i precipiten abans o després del clorur de sodi. A mesura que l'aigua s'evapora, la concentració d'ions canvia i es poden formar altres compostos químics, com ara sals de magnesi o potassi, que poden ser recollits en fases posteriors del procés.

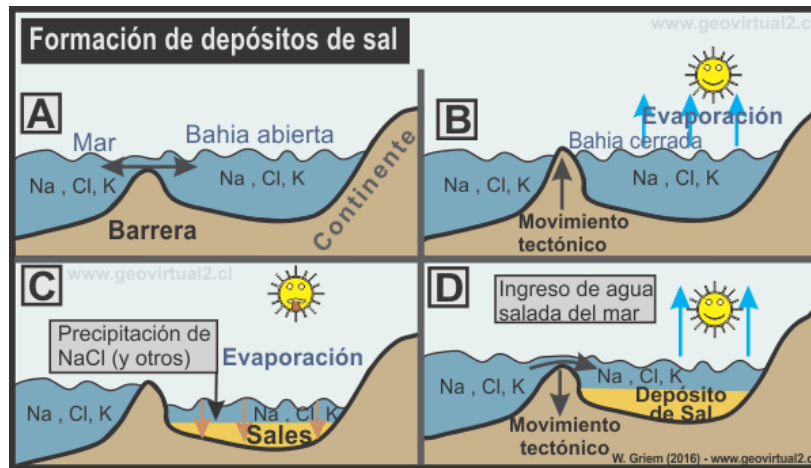


Figura 4: Formació de la sal marina a partir de l'evaporació de l'aigua. Font: <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05f.htm>

Diferències regionals a Europa

Les tècniques d'extracció de sal marina varien segons la regió d'Europa, principalment per raons climàtiques i culturals. Al Mediterrani, les condicions càlides i assolellades permeten una evaporació natural eficient i la producció de sal gourmet, mentre que a l'Atlàntic, el clima més humit i fresc obliga a optimitzar la gestió de l'aigua i, en alguns casos, a utilitzar tècniques auxiliars per accelerar l'evaporació.

Al nord i a l'est d'Europa, on les temperatures són més baixes i la insolació menor, l'extracció de sal marina és menys comuna i sovint es combina amb tècniques d'evaporació artificial o es prioritza l'explotació de salines subterrànies.

En totes les regions, la tendència general és cap a una major mecanització i automatització, però la tradició i la qualitat del producte final encara determinen l'ús d'eines manuals en moltes explotacions.

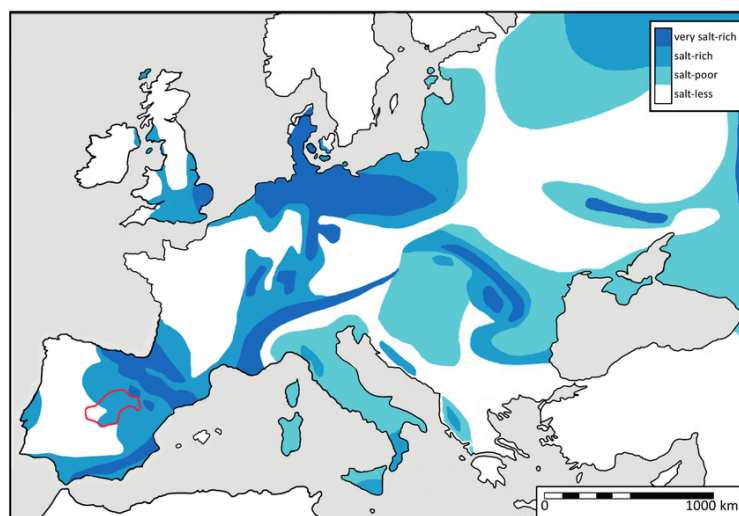


Figura 5: Mapa de fonts de sal a Europa amb la ubicació de l'àrea d'estudi. Font: ResearchGate.

Contaminació per microplàstics en la sal marina

Tot i que aquest mètode de producció és ecològic i tradicional, la sal marina està especialment exposada a la contaminació per microplàstics. L'aigua de mar, que actua com a matèria primera, sovint conté partícules plàstiques flotants o en suspensió que no són eliminades completament durant el procés d'evaporació. Aquestes partícules poden quedar atrapades entre els cristalls de sal, especialment en les fases de cristal·lització i recollida. Això fa que, encara que la sal pugui semblar pura a simple vista, pugui contenir microfibrilles, fragments de plàstic o microesferes invisibles a l'ull humà.

Diversos estudis han confirmat aquesta hipòtesi. Una investigació publicada per Greenpeace l'any 2018 va analitzar mostres de sal marina de diferents països i va detectar microplàstics al 90% de les marques estudiades. Els tipus de plàstics més comuns trobats van ser polietilè (PE), polipropilè (PP) i polietilè tereftalat (PET), que provenen principalment d'envasos, fibres tèxtils i materials d'embalatge. Altres estudis publicats a *Environmental Science & Technology* i a *Pubmed* també han trobat concentracions que poden anar des de desenes fins a centenars de partícules per quilogram de sal marina.

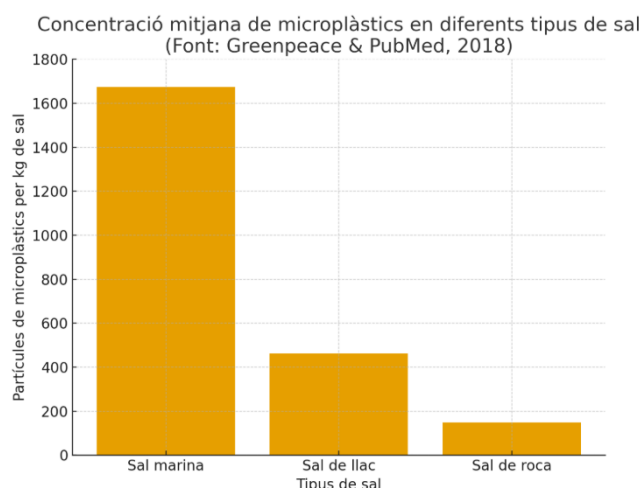


Figura 6: Gràfic basat en les dades reals de l'estudi de Greenpeace i PubMed (2018). **Font:** Propi

Aquesta contaminació varia en funció de la localització geogràfica i del grau de la contaminació del mar. Per exemple, les sals produïdes en àrees costaneres d'Àsia, amb una gestió més deficient dels residus, presenten nivells més elevats de microplàstics que les produïdes àrees europees amb un millor control ambiental. No obstant això, cap regió està exempta del problema, ja que la contaminació marina per plàstics és un fenomen global. S'estima que els oceans reben més de 10 milions de tones de plàstics de anualment, molts dels quals acaben trencant-se en fragments petits per l'efecte del sol, del moviment de l'aigua i dels processos físics i químics naturals.

Un altre factor que pot afavorir la contaminació per microplàstics és la manipulació de la sal després de la recollida. Durant el transport, la rentada o l'envasament, la sal pot entrar en contacte amb plàstics utilitzats com a embolcalls, cintes transportadores o contenidors, la qual cosa incrementa el risc d'introducció de partícules plàstiques alienes al medi natural. En

aquest sentit, fins i tot la sal que ha estat recollida en una zona relativament neta per contaminar-se en les fases posteriors del seu processament.

1.3.2 SALS CONTINENTALS

1.3.2.1 ORIGEN

Formació en conques endorreiques

Les muntanyes de sal s'originen en conques tancades, anomenades conques endorreiques, on l'aigua que hi arriba no té sortida cap al mar i només pot desaparèixer per evaporació. Aquestes conques es troben habitualment en regions amb un clima àrid o semiàrid, caracteritzat per una elevada evaporació i una precipitació escassa. Aquestes condicions són essencials perquè l'aigua que s'acumula en la conca, procedent de rius o de la pluja, s'evapori ràpidament, incrementant la concentració de sals dissoltes fins que aquestes precipiten i es dipositen al fons de la conca.

Precipitació i acumulació de sals

A mesura que l'aigua s'evapora, es produeix la precipitació de diferents minerals evaporítics, sent el clorur de sodi (halita) el més abundant, però també poden aparèixer altres minerals com la silvina, la carnal·lita, la yeso i l'anhidrita. La composició mineralògica d'aquests dipòsits pot variar segons la concentració d'ions a l'aigua, la temperatura i altres factors ambientals, però l'halita és sempre el component dominant. Aquest procés de precipitació i acumulació de sals pot durar milers o fins i tot milions d'anys, donant lloc a gruixos importants de dipòsits salins que, inicialment, queden coberts per altres sediments com argiles, llims o sorres, que s'acumulen a sobre a mesura que la conca continua rebent aportacions de materials.

Halocinesi i formació del diapir

Amb el pas del temps, aquests dipòsits de sal queden enterrats sota capes cada cop més gruixudes de sediments. Aquí entra en joc una propietat fonamental de sal: la seva plasticitat i baixa densitat en comparació amb la majoria de roques sedimentàries. Sota la pressió creixent dels sediments superposats, la sal es comporta de manera dúctil i pot començar a fluir lentament. Aquest moviment ascendent de la sal a través de les capes de sediments es coneix com a halocinesi, i és el primer pas cap a la formació d'una muntanya de sal.

El procés de halocinesi pot veure's afavorit per diversos factors, com la presència d'aigua (que pot accelerar la dissolució i el moviment de la sal), la pressió tectònica (que pot crear fractures o espais per on la sal pot ascendir) i, sobretot, la diferència de densitat entre la sal i les roques que l'envolten. Quan la massa de sal ascendeix prou, pot arribar a perforar o deformar les capes de roca que té a sobre, formant una estructura anomenada diapir o dom solí. Aquest fenomen, conegut com a diapirisme, pot donar lloc a aixecaments i deformacions visibles a la superfície, com és el cas de la Muntanya de Sal de Cardona, on el diapir de sal continua creixent cada any.

Erosió i morfologia superficial

Un cop la sal ha ascendit fins a prop de la superfície, els processos d'erosió (pluja, vent, etc.) poden eliminar els sediments que la cobreixen, deixant la sal exposada i formant muntanyes o afloraments salins visibles. La sal, per la seva elevada solubilitat, pot ser dissolta fàcilment per l'aigua de pluja, la qual cosa pot modificar la morfologia de la muntanya i generar formes superficials característiques com coves, dolines i altres formes càrstiques salines.

Composició mineralògica

A nivell químic i mineralògic, les muntanyes de sal estan formades principalment per halita (NaCl), però també poden contenir altres minerals evaporítics com la silvina (KCl), la carnal·lita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), la yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) i l'anhidrita (CaSO_4). La proporció d'aquests minerals pot variar segons les condicions ambientals i la història geològica del dipòsit. Les muntanyes de sal poden presentar una estructura massiva, però també poden mostrar textures bandades o laminades, resultat de la precipitació successiva de diferents minerals a mesura que l'aigua s'evapora i la concentració d'ions canvia.

Les Muntanyes de Sal de Cardona, per exemple, és un cas paradigmàtic d'aquest procés. Durant l'Eocè, fa una 40 milions d'anys, la conca de l'Ebre va experimentar un període d'alta evaporació que va afavorir la precipitació de grans gruixos de sal. Amb el temps, aquests dipòsits van quedar coberts per sediments, i la sal va començar a ascendir per halocinesi fins a formar el diapir actual, que encara avui continua creixent i modificant-se per l'acció de l'aigua i l'erosió.



Figura 7: Diapir de la muntanya de sal de Cardona. Font: <https://undergroundadventure.cat/karst-de-sal-de-cardona/>

1.3.2.2 TÈCNIQUES D'EXTRACCIÓ

L'extracció de la sal continental

L'extracció de la sal continental és un procés que ha estat fonamental per al desenvolupament de moltes societats. Aquesta sal prové de dipòsits geològics formats fa milions d'anys, quan antics mars interiors es van assecar i van deixar grans capes de sal soterrades sota terra. Amb el pas del temps, aquests dipòsits han quedat coberts per altres estrats de roque i sediments, i avui dia es poden trobar a diverses profunditats, des de pocs metres fins a centenars de metres

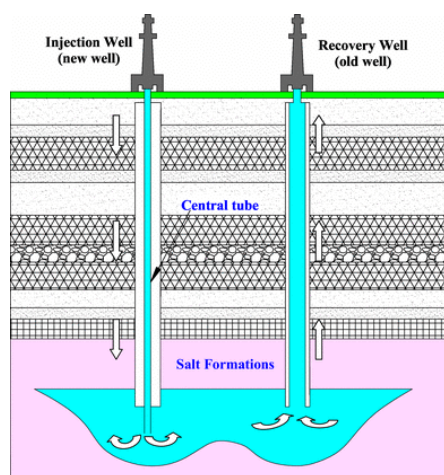
sota la superfície terrestre. La sal continental es pot extreure mitjançant diferents tècniques, que varien segons la naturalesa del jaciment, la profunditat i la tecnologia disponible.

Mineria de sal de roca

Una de les tècniques més emblemàtiques és la mineria de sal de roca, que consisteix a excavar galeries subterrànies dins dels grans dipòsits de sal gemma. Aquest mètode s'assembla molt a la mineria convencional de carbó o metalls, ja que implica la perforació de túnels i cambres dins la muntanya de sal. Els miners utilitzen eines manuals o maquinària pesada per trencar la roca salina i transportar-la fins a la superfície. En el passat, la feina era extremadament perillosa i dura, ja que les condicions dins les mines podien ser molt dures, amb risc d'esfondraments, manca de ventilació i humitat elevada. Amb el temps, la mecanització ha permès millorar la seguretat i l'eficàcia, i avui dia s'utilitzen màquines perforadores, cintes transportadores i sistemes de ventilació avançats per facilitar l'extracció i el transport de la sal. Aquest tipus de mineria produeix blocs de sal de gran puresa, que després es poden triturar i refinar segons les necessitats del mercat.

Explotació de salmorres

Una altra tècnica molt utilitzada, especialment en zones on la sal es troba a menor profunditat o on hi ha fonts naturals d'aigua salada, és l'explotació de salmorres mitjançant pous i evaporació artificial. En aquest cas, es perforen pous fins arribar al dipòsit de sal, i s'injecta aigua dolça per dissoldre la sal i formar una salmorra concentrada. Aquesta salmorra es bombeja fins a la superfície i es trasllada a grans basses o recipients on es fa evaporar l'aigua, ja sigui mitjançant l'acció de sol o, més habitualment, mitjançant l'ebullició artificial. L'ús de calor accelera el procés d'evaporació i permet obtenir sal cristal·litzada en menys temps i menys dependència de les condicions climàtiques.



Aquesta tècnica tradicional d'ebullició requeria una gran quantitat de llenya o carbó per alimentar els focs, i sovint implicava una organització comunitària. El procés era laboriós i exigia una vigilància constant per evitar que la sal es cremés o es barrejés amb impureses. Un cop la sal cristal·litzada, es recollia amb pales i es deixava assecar abans de ser emmagatzemada o comercialitzada. Aquesta sal, sovint de gra fi i amb una composició mineral característica, era molt apreciada per la seva puresa i pel seu gust, i es destinava tant al consum humà com a la conservació d'aliments i a usos industrials.

Figura 8: Minería en soluciones con convección de doble pozo. **Font:** ResearchGate

Transformació amb la revolució industrial

Amb l'arribada de la revolució industrial i el desenvolupament de noves tecnologies, l'extracció de sal continental va experimentar una transformació. Les mines de sal van incorporar maquinària pesada per a l'excavació i el transport, així com sistemes de ventilació

i il·luminació que milloraven les condicions de treball. A més, la tècnica de dissolució per injecció d'aigua i posterior evaporació es va perfeccionar amb l'ús de calderes de vapor i evaporadors industrials, que permetien una producció molt més gran i regular. Aquestes instal·lacions modernes poden controlar amb precisió la temperatura, la pressió i la concentració de la salmorra, obtenint així una sal d'alta qualitat i adaptada a les necessitats de la indústria alimentària, química o farmacèutica.

Processos físics en l'extracció de sal

Els processos físics fonamentals en l'extracció de la sal continental són la dissolució, l'evaporació i la cristal·lització. Quan l'aigua entra en contacte amb la roca salina, el clorur de sodi es dissol fins a saturar la solució, formant la salmorra. Aquesta salmorra, un cop extreta de la superfície, es sotmet a l'evaporació, que pot ser natural o artificial. L'evaporació elimina l'aigua i concentra la sal fina que aquesta precipita en forma de cristalls. La cristal·lització és un procés físic pel qual la sal passa de l'estat dissolt a l'estat sòlid, i pot ser controlada per regular la mida i la puresa dels cristalls. En alguns casos, durant l'evaporació també poden precipitar altres sals menys solubles, com el sulfat de calci o sals de magnesi, que es poden separar mitjançant processos de decantació o filtració.

Postprocessament i refinament de la sal

Després de la cristal·lització, la sal es recull i es sotmet a processos de neteja, assecat i trituració. El rentat serveix per eliminar impureses sòlides o restes de terra, mentre que l'assecat redueix la humitat i facilita l'emmagatzematge. La trituració i el tamisat permeten obtenir diferents granulometries segons l'ús final de la sal. En el cas de la sal destinada al consum alimentari, sovint es refina per eliminar minerals secundaris i s'hi poden afegir additius com l'ió per prevenir deficiències nutricionals o agents antiaglomerants per millorar-ne la conservació.

Contaminació per microplàstics

Tot i que, a priori, la sal continental hauria de contenir molt pocs microplàstics, alguns estudis han detectat presència en mostres comercials. Aquesta contaminació no prové del seu origen geològic, sinó més aviat de les etapes posteriors del processament i l'envasament. Les partícules de plàstic poden introduir-se durant el transport, la manipulació industrial, entre altres motius.

1.4 EFECTES DELS MICROPLÀSTICS EN LA SALUT HUMANA

Impacte dels microplàstics en la salut humana

Els microplàstics han passat de ser una preocupació ambiental a convertir-se en un tema central de salut pública. Diversos estudis recents han començat a revelar els efectes potencials que aquestes partícules poden tenir en l'organisme humà, especialment pel que fa a processos d'estrès cel·lular (desequilibri entre la producció d'oxigen reactiu i la capacitat d'un sistema biològic de detoxificar ràpidament els reactius intermedis o reparar els danys produïts), inflamació i alteracions fisiològiques. Tot i que encara hi ha molts aspectes per investigar, les

primeres evidències científiques apunten cap a una relació entre l'exposició continuada a aquestes partícules i l'aparició de certs anys biològics en teixits i òrgans.

Vies d'exposició i distribució al cos

Els microplàstics poden arribar al cos humà per diferents vies: la ingestió d'aliments i begudes contaminats (com aigua, peix, sal de taula o marisc), la inhalació de partícules en suspensió a l'aire, i fins i tot a través de l'absorpció cutània en casos puntuals. Un cop dins del cos tenen la capacitat de travessar barreres biològiques com la mucosa intestinal i, potencialment, arribar a òrgans com el fetge, els ronyons o el cervell.

Segons un article del *National Geographic* (2022), alguns fragments han estat trobats en sang humana, teixit pulmonar, cosa que demostra la seva capacitat per circular pel cos i acumular-se.

Estrès oxidatiu i inflamació cel·lular

Una de les principals afectacions als microplàstics és l'estrès oxidatiu. Segons un estudi recollit per *3CatI* (2022), aquestes partícules poden desencadenar processos d'estrès i inflamació cel·lular.

Això es produeix en interaccionar amb les membranes cel·lulars o entrar en contacte amb proteïnes i altres components intracel·lulars, poden alterar el funcionament normal de les cèl·lules i provocar la generació de radicals lliures. Aquests radicals lliures poden danyar les estructures cel·lulars, com l'ADN o les membranes, provocant una resposta inflamatòria que pot estar relacionada amb malalties cròniques amb el temps.

Transport de contaminants i efectes endocrins

A més, els microplàstics sovint transporten amb ells altres substàncies químiques tòxiques adherides a la seva superfície, com metalls pesants, pesticides o compostos disruptors endocrins (EDCs), que poden interferir en el sistema hormonal humà. Aquest fet pot afectar especialment a grups vulnerables com els nadons, les dones embarassades i les persones amb malalties prèvies.

Aquests compostos poden alterar el funcionament de les hormones sexuals, de la tiroides o del sistema nerviós, amb conseqüències que encara s'estan estudiant però que podrien incloure infertilitat, problemes de desenvolupament i alteracions neurològiques.

Efectes sobre la microbiota intestinal

Un altre estudi rellevant, publicat al portal científic *PubMed Central (PMC)*, demostra que l'exposició crònica a nanoplàstics per alterar la microbiota intestinal. Aquest desequilibri pot provocar una major permeabilitat intestinal, facilitant que toxines o partícules passin al torrent sanguini.

També s'ha observat una resposta inflamatòria sistemàtica i canvis en el metabolisme cel·lular, especialment en estudis amb models animals, com ratolins o peixos de zebra.

Encara que falten estudis definitius en humans, aquests resultats són motiu de preocupació i justifiquen continuar la investigació.

Estat actual de la recerca

És important destacar que, tot i aquests avenços, la comunitat científica encara no ha establert una relació directa i concloent entre la presència de microplàstics al cos i malalties concretes en humans. La majoria d'estudis actuals s'han realitzat en condicions de laboratori o en animals, i cal investigar amb més profunditat per determinar quin grau d'exposició representa un risc real. Tanmateix, l'evidència acumulada suggereix que els microplàstics actuen com a irritants cel·lulars i poden actuar com a vectors de substàncies tòxiques.

Poblacions vulnerables

Pels que fa a les poblacions més vulnerables, s'ha posat èmfasi en els infants i els fetus. Els nens, a causa de la meua mida corporal reduïda i del fet que estan en ple desenvolupament, són més sensibles als efectes de tòxics ambientals. A més, és més probable que ingereixin partícules de plàstic a través de joguines, pols domèstica o aliments processats. En el cas de les dones embarassades, diversos estudis han suggerit que alguns compostos transportats pel microplàstics podrien travessar la placenta, fet que suposa un risc afegit per al desenvolupament fetal.

2. Marc pràctic

2.1 DATA I SALS TRIADES

Data i localització:

- **Data del dia que es va realitzar l'experiment:** L'experiment es va dur a terme el 9 de juliol de 2025 als laboratoris de la Facultat de Ciències de la Terra de la Universitat de Barcelona.

Sals triades:

La primera mostra és la sal de Cardona concretament de la marca Sal de Cardona Salinas de la Vall, una sal cristal·lina d'origen geològic extreta directament del jaciment miner de Cardona a Catalunya considerada una sal fòssil amb origen evaporític i molt aïllada de fonts modernes de contaminació, una candidata per representar la sal continental sòlida.

La segona mostra continental és la sal rosa de l'Himàlaia de la marca NaturGreen, una sal extreta de mines subterrànies mil·lenàries situades al Pakistan amb un alt grau de puresa i molt baixa exposició a la contaminació moderna és àmpliament comercialitzada i destaca pel seu contingut mineral i pel mínim processament que rep.

La tercera mostra correspon a sal marina mediterrània i en aquest cas he escollit la Sal Costa Sal Marina Fina, produïda a les salines de la costa catalana provinent directament del mar

Mediterrani un entorn caracteritzat per l'alta densitat poblacional, baixa renovació d'aigües i gran acumulació de residus plàstics, fet que pot afavorir la contaminació per microplàstics

Finalment, com a representant de la sal marina oceànica o atlàntica he triat la Sal de Guérande Le Paludier, una sal artesanal francesa recollida a la Bretanya a partir de salines obertes a l'oceà Atlàntic considerades d'alta qualitat i exposades a aigües amb una millor circulació i menor concentració de residus costaners una mostra que pot servir per contrastar amb el cas mediterrani.

2.2 MATERIALS I EQUIPS

Per minimitzar qualsevol aportació externa de microplàstics i garantir la fiabilitat dels resultats, s'han utilitzat només materials de vidre i metalls, evitant el plàstic a tot el possible. La llista de materials inclou:

Materials:

- Mostres de sal (50g per mostra)
- Filtres de membrana de porus definits (0,45 µm), aptes per retenir la majoria de microplàstics coneguts
- Aigua embotellada prèviament filtrada tres vegades
- Plaques de Petri de vidre i de plàstic (només per conservació final)
- Vas de precipitats (500 mL)
- Embut Büchner i matràs Kitassato
- Pincers metàl·liques, espàtula d'acer inoxidable
- Paper d'alumini (per tapar i evitar la deposició de fibres)
- Blanc de control per cada mostra (filtre exposat a l'aire)

Equips:

- Bomba de buit per accelerar la filtració
- Balança analítica
- Agitador magnètic amb imant recobert de tefló
- Microscopi òptic binocular amb il·luminació LED regulable

2.3 PREPARACIÓ DEL LABORATORI

Per garantir que els resultats són atribuïbles exclusivament a les mostres i no a la contaminació ambiental, s'han seguit estrictament les recomanacions del manual de laboratori de la UB. S'han pres les següents mesures addicionals:

- No encendre cap campana extractora ni aire condicionat perquè pot alterar el moviment de partícules a l'aire i incrementar la contaminació per fibres o pols.
- Utilització de roba de cotó de color llampant (taronja) per poder detectar fàcilment fibres contaminants (en cas d'aparèixer al filtre es descarten del recompte).
- Cabell recollit i cobert amb gorra de cotó, mans netes sense cremes ni maquillatge.

- Neteja intensa prèvia de totes les superfícies i materials amb aigua filtrada i asseccament a l'aire.
- Neteja del terra amb aigua el mateix dia de l'experiment.
- Es prepara un filtre de control (blanc) per cada mostra, exposat a l'aire durant el mateix temps que la mostra per detectar la contaminació ambiental accidental.
- Totes les plaques de Petri i recipients es tapen immediatament després del pesatge o la filtració per evitar la deposició de fibres en suspensió.

2.4 FILTRACIÓ DE L'AIGUA

Abans de preparar les dissolucions de sal, realitza la filtració de l'aigua de l'aixeta per reduir la presència de fibres o microplàstics. El procés es va repetir tres vegades consecutives utilitzant el mateix filtre per assegurar la coherència dels resultats.

1. Procediment de la filtració:

Per dur-la a terme, es emprà un sistema de Kitassato de vidre connectat a una bomba de succió. Sobre el Kitassato es va col·locar el paper de filtre ben ajustat.

S'hi aboca aproximadament 1 litre d'aigua de l'aixeta a temperatura ambient, deixant que la bomba de succió aspiri fins a completar la filtració mentre el Kitassato es tapa amb paper d'alumini per evitar la contaminació de l'aigua per pols o fibres ambientals.

2. Recollida i conservació:

L'aigua recollida es traspasa a una ampolla de vidre prèviament neta i es tapa immediatament amb el tap.

3. Repetició del procés:

Aquest mateix aigua es torna a filtrar dues vegades més, seguint el mateix procediment i sense substituir el filtre. En finalitzar, s'obté un volum aproximat 1 litre d'aigua filtrada.

2.5 PREPARACIÓ DE LA DISSOLUCIÓ

1. Pesatge de les mostres:

Cada mostra de sal es pesa individualment utilitzant una balança analítica. Prèviament, es tara la balança amb una placa de Petri neta per descartar-ne el pes i assegurar que només es mesura la sal. Aproximadament, s'afegeix 50 grams de sal sobre la placa dins de la balança.

Durant el pesatge, la placa de control exposada a l'aire es manté destapada, de manera que tant la mostra com el control estan simultàniament exposats a les condicions ambientals del laboratori. Això permet quantificar la possible contaminació per partícules o fibres en suspensió.

Un cop finalitzat el pesatge, es tanca immediatament tant la placa amb la mostra com la placa del control, garantint la protecció de les mostres i la coherència del control ambiental. Aquest procés es repeteix de manera independent per a cada mostra de sal.



Figura 9: Grup control amb la sal pesada per mitjà de la balança. **Font:** Propi.

2. Dissolució de la sal:

Cada mostra pesada es transfereix a un vas de precipitats de vidre. Posteriorment, s'aboca 500 mL d'aigua filtrada dins del vas. Durant aquest procés, el grup control exposat a l'aire es manté simultàniament destapat. Un cop finalitzat, la solució es tapa amb paper d'alumini.



La dissolució s'agita amb un agitador magnètic amb l'ús d'un imant durant un període de 15 a 30 minuts, fins que tota la sal queda completament dissolta i la solució fos homogènia. Aquest procediment permet una dissolució eficient i evita la contaminació que podria produir l'agitació manual.

Aquest procés es repeteix de manera individual per a cada mostra de sal, garantint que cada dissolució es prepari de forma separada i que el seu grup control corresponent exposat a l'aire sigui registrat correctament en cada pas.

Figura 10: Mescla sal de Guérande amb el seu grup control, tots dos tapats. **Font:** Propi.

2.6 FILTRACIÓ DE LA DISSOLUCIÓ I CONSERVACIÓ DE FILTRES

1. Preparació del sistema de filtració:

Abans de filtrar la dissolució, es substitueix el filtre utilitzat en la filtració de l'aigua per un nou paper de filtre, col·locat correctament a l'embut de vidre. El filtre antic es retira amb pinces, manipulant-lo amb cura per evitar contaminacions.

2. Transferència de la dissolució:

El contingut del vas de precipitats amb la dissolució de sal es prepara per abocar-se al nou filtre. Just abans de l'abocament, es destapa el vas de precipitats i la tapa de la placa de Petri que conté el grup control. Un cop tota la dissolució està dins del sistema de filtració, es tanquen immediatament el vas i la tapa del grup control per minimitzar l'exposició a l'aire.

3. Filtració amb la bomba de succió:

Un cop el sistema està tancat, es posa en funcionament la bomba de succió, i la dissolució passa pel filtre, quedant-hi retingudes les partícules insolubles i potencials microplàstics.



Figura 11: Filtració de la solució de Guérande. **Font:** Propi

4. Finalització i desmuntatge:

Quan la filtració s'ha completat, es desmunta el sistema amb cura. El filtre que conté la dissolució es retira amb pinces i es trasllada a una plaqueta de Petri de plàstic petit, identificada amb el tipus de sal corresponent, per a la seva posterior anàlisi al microscopi. De manera anàloga, el grup control associat a aquesta mostra de sal es trasllada a un altre recipient similar, també etiquetat, per a la seva anàlisi específica de microplàstics.

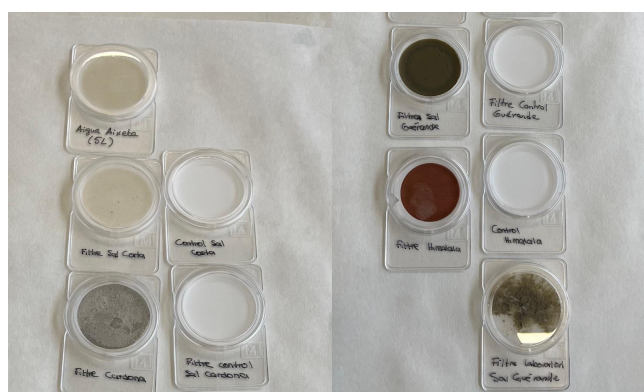


Figura 12: Mostres i grups controls etiquetats. **Font:** Propi.

5. Repetició i etiquetatge

Aquest procediment es repeteix de manera independent per a cada dissolució de sal, assegurant que cada filtració disposi d'un nou filtre i que cada grup control sigui conservat correctament. Tots els filtres i grups control s'etiqueten amb el tipus de sal, permetent l'anàlisi microscòpica posterior de manera fiable.

2.7 OBSERVACIÓ MICROSCÒPICA

Recompte de microplàstics:

Un cop els filtres estan completament secs, es procedeix a la seva observació amb un microscopi binocular. Per facilitar el recompte sistemàtic dels microplàstics, es dibuixen quadrícules d'1 cm × 1 cm sobre la tapa de la mostra, de manera que cada secció pugui ser analitzada de manera ordenada i exhaustiva.

Durant l'observació, es compten i es classifiquen les partícules segons diversos criteris: forma (fibres, fragments, làmines...), color i mida estimada. Per calcular la mida de cada partícula es va estimar col·locant un regle al costat del microplàstic i realitzant una aproximació visual. Per obtenir la concentració neta de microplàstics, es realitza una correcció amb el grup control corresponent a cada mostra, restant les partícules detectades al filtre de control. Això permet eliminar possibles contaminacions ambientals.

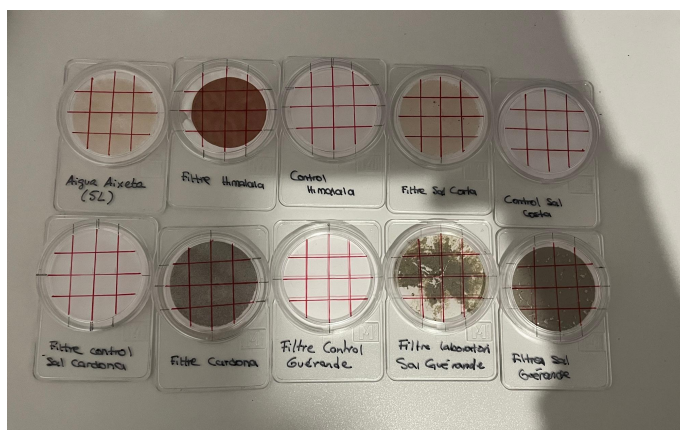


Figura 13: Mostres amb quadrícules de 1 cm x 1 cm. **Font:** Propi.

En el cas de fibres que provenen d'una contaminació induïda per l'investigador, com per exemple fibres taronges procedents d'una samarreta, aquestes també es resten tant del filtre de control com de la mostra corresponent. D'aquesta manera, la concentració final reflecteix només els microplàstics presents a la dissolució de sal, sense interferències externes.

Tal que ens quedaria:

Microplàstics totals = **microplàstics mostra** (microplàstics analitzats - fibres de la samarreta de l'investigador) - **microplàstics grup control** (microplàstics analitzats - fibres de la samarreta de l'investigador)

Resultats finals:

Tipus de sal	Fibres	Fragments	Films	Pèl·lets	Color predominant	Mida estimada (mm)	Partícules netes (després del control)
Sal Himàlaia	15	0	0	0	Negre	1	14
Sal Cardona	1	0	0	0	Negre	0,4	1
Sal Guérande	14	2	1	1	Negre	0,5-1	17
Sal Costa	139	1 (esponjós)	1	0	Groc i transparent	1-2	128

Taula 2: Resum dels resultats finals de les mostres. **Font:** Propi

3. Conclusions

Els resultats obtinguts recolzen la hipòtesi inicial de l'estudi, evidenciant que la sal marina del Mediterrani presenta una concentració significativament major de microplàstics en comparació amb la sal atlàntica i les sals continentals. Aquesta diferència s'atribueix al caràcter tancat de la mar Mediterrània i a la seva elevada exposició a la contaminació industrial i urbana en les zones costaneres.

Encara que les sals continentals contenen menys microplàstics, cap de les mostres analitzades està completament lliure d'ells. Aquesta troballa indica que la contaminació per microplàstics s'ha generalitzat, afectant fins i tot productes d'origen geològic i entorns teòricament aïllats.

Les variacions observades entre els tipus de sal permeten concloure que les sals marines, en provenir directament de l'aigua de la mar, són més vulnerables a la contaminació per microplàstics. En canvi, les sals continentals, especialment les extreïdes de mines com la de Cardona o les de l'Himàlaia, presenten nivells molt baixos que probablement s'originen durant el processament, transport o envasat.

Encara que les quantitats detectades de microplàstics són petites, l'exposició contínua a aquestes partícules a través de l'alimentació pot tenir efectes acumulatius en la salut humana. Aquestes partícules actuen com a vectors de substàncies químiques potencialment tòxiques, com a metalls pesants o disruptors endocrins, la qual cosa podria generar alteracions fisiològiques a llarg termini.

L'estudi subratlla la necessitat urgent de reforçar la regulació sobre la producció, ús i gestió dels plàstics, així com d'establir protocols més estrictes en el control de contaminants presents en els aliments. Així mateix, és essencial promoure l'ús responsable del plàstic i fomentar alternatives biodegradables que redueixin la contaminació ambiental.

Finalment, aquest treball pretén contribuir a la conscienciació social sobre una problemàtica invisible però real. La detecció de microplàstics en un producte tan quotidià com la sal demostra la magnitud del problema i la urgència d'adoptar mesures col·lectives i individuals que afavoreixin la protecció del medi ambient i la salut humana.

Per tal d'il·lustrar la possible exposició humana als microplàstics a través del consum d'aliments quotidians, s'ha formulat un escenari hipotètic centrat en la ingesta de sal. En aquest plantejament, es considera una persona amb un consum diari mitjà de 6 grams de sal, valor proper al límit màxim recomanat per l'Organització Mundial de la Salut.

A partir dels resultats obtinguts en les mostres analitzades, s'ha extrapolat la quantitat de microplàstics que una persona ingeriria diàriament amb un consum de 6 grams de sal, i posteriorment s'ha estimat la ingesta anual. Aquest càlcul permet obtenir una aproximació de

l'exposició potencial segons el tipus de sal consumida, i posa de manifest la variabilitat que pot existir entre productes d'origen o grau de refinament diferent.

Aquest escenari no pretén oferir una estimació precisa de la ingesta real, sinó il·lustrar, amb una base quantitativa simplificada, la presència generalitzada de microplàstics en productes alimentaris d'ús corrent. Els resultats obtinguts mostren diferències significatives entre les sals analitzades: la Sal Cardona, tot i ser la més cara, presenta una concentració inferior de microplàstics en comparació amb altres opcions com la Sal Costa, que és la més econòmica però també la que conté una major quantitat de partícules.

Aquesta observació convida a reflexionar sobre la relació entre el preu dels aliments, la seva qualitat i la possible exposició a contaminants. Invertir en productes de procedència més controlada o de processos de producció més acurats pot representar no només una millor experiència organolèptica, sinó també una reducció potencial en la ingesta de substàncies indesitjades com els microplàstics.

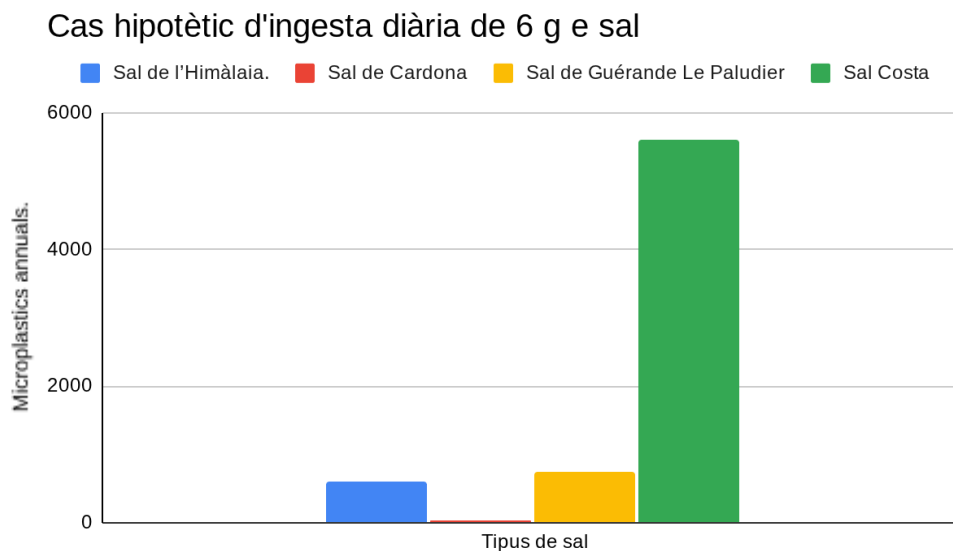


Figura 14: Gràfic de barres del cas hipotètic dels microplàstics ingerits anualment. **Font:** Propi.

4. Webgrafia

20/04/2025

Jesús, G. C. (2020, 1 enero). Mètodes analítics per a la determinació de micro- i nanoplàstics en aliments i begudes. <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/170416>

(Novembre de 2019). Microplàstics i nanoplàstics en la cadena alimentària.

https://scientiasalut.gencat.cat/bitstream/handle/11351/4460/microplastics_nanoplastics_cadena_alimentaria_situacio_actual_2019.pdf?sequence=1

Microplàstics a la sal de taula. (s. f.). INS Mediterrània.

<https://agora.xtec.cat/iesmediterrania/general/microplastics-a-la-sal-de-aula/>

22/04/25

Laboratori de microplàstics | CEAB. (2024, 24 septiembre). CEAB.

<https://www.ceab.csic.es/serveis-a-externs/laboratori-de-microplastics/>

Grau, M. (2024, 7 julio). Detecció i anàlisi de Microplàstics a Aliments. Consultoria En Seguridad Alimentaria y APPCC - Proacciona.

<https://www.proacciona.es/ca/deteccio-i-analisi-de-microplastics-a-aliments/>

28/04/25

Navarro Bernuz, A. (2020). Microplàstics, l'amenaça invisible [Treball de recerca de batxillerat, INS Francesc Macià]. COMAP Citilab.

<https://comap.citilab.eu/wp-content/uploads/2021/02/Els-micropl%C3%A0stics.pdf>

11/05/25

Contributors to Wikimedia projects. (2025, 23 abril). Microplàstic. Viquipèdia,

L'enciclopèdia Lliure. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Micropl%C3%A0stic+>

Autor desconegut. (s.f.). Els plàstics fantasma. Universitat de Vic - Premis Recerca.

https://premisrecerca.uvic.cat/sites/default/files/webform/els_plastics_fantasmes_uv.pdf

microplàstic | enciclopedia.cat. (s. f.).

<https://www.enciclopedia.cat/gran-enciclopedia-catalana/microplastic>

18/05/25

colaboradores de Wikipedia. (2024, 21 noviembre). Polimerización. Wikipedia, la Enciclopedia Libre.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Polimerizaci%C3%B3n#:~:text=La%20polimerizaci%C>

Admin, Admin, & Admin. (2024, 17 diciembre). Microplásticos ¿Qué son? ¿Qué productos los contienen? Ambar Plus - Líderes En la Gestión Integral de Residuos Peligrosos y No Peligrosos. <https://ambarplus.com/microplasticos/>

Els plàstics. (s. f.). <http://www.xtec.cat/~jsolson7/batx/materials1/Plastics.htm>

25/05/25

4. Materials polímers — Site. (s. f.).

<https://tecnologiaisostenibilitat.upc.edu/continguts/materials/4.-materials-polimers.html>

01/06/25

Greenpeace España. (2021, 27 agosto). Com arriba el plàstic als oceans i què hi passa llavors? - CA | Greenpeace España. CA | Greenpeace España.

<https://es.greenpeace.org/ca/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-oceanos-y-que-sucede-entonces/>

Alcaraz de la Osa, R., & Cremades, E. (2024). Tipus de plàstics: Principals propietats i usos dels plàstics bàsics [Póster]. FisiQuímicament.

<https://fisiquimicament.com/recursos-fisica-quimica/apunts/2batx/quimica/quimica-organica/polimers-poster.pdf>

10/06/2025

Chalamanch Sans, P. (2023). *Microplàstics a l'atmosfera: Estudi del seu origen, identificació i implicacions com a contaminant* (Treball de Fi de Màster, Universitat Politècnica de Catalunya). Recuperado de

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/395142/tfm-pol-chalamanch.pdf?sequence=2>

Parker, L. (2022, abril 26). ¿Qué daños producen los microplásticos para el ser humano? National Geographic España.

<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2022/04/danos-producen-microplasticos-salud-personas>

11/06/2025

AccioMate. (2023, 28 de enero). Sea salt production process: From nature to your table.

<https://www.acciomate.com/en/post/sea-salt-production-process-from-nature-to-your-table>

Parker, L. (2018, 17 de octubre). Microplastics found in 90 percent of table salt: Potential health impacts? National Geographic.

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

Danopoulos, E., Jenner, L., Twiddy, M., & Rotchell, J. M. (2020). Microplastic contamination of salt intended for human consumption: A systematic review and

meta-analysis. SN Applied Sciences, 2(11), 1950.

<https://doi.org/10.1007/s42452-020-03749-0>

Greenpeace International. (2018, 10 de octubre). Over 90% of sampled salt brands globally found to contain microplastics.

<https://www.greenpeace.org/international/press-release/18975/over-90-of-sampled-salt-brands-globally-found-to-contain-microplastics/>

Sustainable Energy Institute (SEI). (2020, 3 de diciembre). Microplastics from ocean to table.

<https://www.sei.org/features/microplastics-from-ocean-to-table/>

La Fina. (2020, 21 de septiembre). *Cómo se produce la sal marina? (Proceso entero)* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=WtDTRzS9KjY>

12/06/2025

Zhang, H., Wang, X., Li, Y., & Chen, L. (2023). Microplastics in commercial salts: Occurrence, sources, and health risks. *Environmental Science & Technology*, 57(43), 16381–16392. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.3c11021>

Sharma, S., & Chatterjee, S. (2022). Microplastic contamination in edible salts: A global perspective. PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35907067/>

Li, J., Liu, H., & Paul Chen, J. (2022). Microplastic contamination in salt and dietary implications. PMC, 9, Article 9813175.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9813175/>

Smith, A., & Jones, B. (2023). Health risks of microplastic ingestion via salt. PMC, 13, Article 1140707. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1140707/>

Glenza, J. (2017, 8 de septiembre). Sea salt around world contaminated by plastic, studies show. *The Guardian*.

<https://www.theguardian.com/environment/2017/sep/08/sea-salt-around-world-contaminated-by-plastic-studies>

Wikipedia contributors. (2025, 20 de octubre). *Salt evaporation pond*. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Salt_evaporation_pond

Wikipedia contributors. (2025, 20 de octubre). *In situ leach*. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/In_situ_leach

JXSC Mining. (n.d.). Salt & halite mining: Mineral processing methods.

<https://www.jxscmining.com/mineral-processing/salt-halite-mining/>

Upet. (n.d.). Salt mining drilling rigs. <https://upet.com/salt-mining-drilling-rigs/>

UMADivulga. (n.d.). Halita (sal gema).

<https://www.umadivulga.uma.es/museo-virtual/mineralogia/halita-sal-gema/>

Ronaldocrdossantos. (2016, 21 de julio). Underground mining methods.

<https://ronaldocrdossantos.wordpress.com/2016/07/21/underground-mining-methods/>

13/06/25

Lee, Y., Cho, J., Sohn, J., & Kim, C. (2023). Health effects of microplastic exposures:

Current issues and perspectives in South Korea. Yonsei Medical Journal, 64(5), 301–308.

<https://doi.org/10.3349/ymj.2023.0048>

3cat. (2025, 12 de marzo). Com els microplàstics afecten la salut humana: poden causar estrès i inflamació cel·lular. 3cat.

<https://www.3cat.cat/324/com-els-microplastics-afecten-la-salut-humana-poden-causar-estres-i-inflamacio-cellular/noticia/3340263/>

16/06/25

Baqués Almirall, V. (2023). Manual de laboratorio para centros educativos: Microplásticos en la sal de mesa. Universitat de Barcelona.

<https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/192502/7/CAT-Manual%20Lab%20Centre%20Educatiu.pdf>

05/08/25

3cat. (2025, 12 de març). Com els microplàstics afecten la salut humana: poden causar estrès i inflamació cel·lular. 3cat.

<https://www.3cat.cat/3catinfo/com-els-microplastics-afecten-la-salut-humana-poden-causar-estres-i-inflamacio-cellular/noticia/334026>

Wikipedia contributors. (2025, 20 d'octubre). Sal marina. Viquipèdia, l'enciclopèdia lliure.

https://ca.wikipedia.org/wiki/Sal_marina

09/08/25

Natural History Museum. (s.f.). Why is the sea salty?

<https://www.nhm.ac.uk/discover/quick-questions/why-is-the-sea-salty.html>

Wikipedia contributors. (2025, 20 de octubre). History of salt. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_salt

Wikipedia contributors. (2025, 20 de octubre). Saltern. Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Saltern>

14/08/25

Menorca Biosfera. (s.f.). La sal marina i les tècniques tradicionals.

<https://www.menorcabiosfera.org/documents/documents/4465doc2.pdf#:~:text=la%20sal%20marina%20i,de%20les%20tècniques%20tradicionals>

Jornades SHNB. (2025, febrero). VI Jornades de Medi Ambient.

<https://jornades.shnb.org/wp-content/uploads/2025/02/VI-Jornades-de-Medi-Ambient.pdf#:~:text=de%20l%27efecte%20de%20l%27extracci%C3%B3,F.%2C%20Clamor%2C%20B.%2C%20Gamund%C3%AD%2C>

Hanpu Machinery. (s.f.). The salt refining process.

<https://ca.hanpumachinery.com/info/the-salt-refining-process-17428137338905600.html#:~:text=El%20proc%C3%A9s%20de%20refinament,mec%C3%A0niques%20de%20rentat%20i>

Institut d'Estudis Catalans. (s.f.). L'àcid de la sal: una història de la química del ni-tre.

<https://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000324/00000042.pdf#:~:text=l%27%C3%A0cid%20de%20la%20sal,del%20ni%2D%20tre%5D%20que%2C>

18/08/2025

CESIRE. (s.f.). RMT v1.0: La química de l'aigua de mar.

<http://cesire.cat/mialias.net/recursos/context/quimica/RMT%20v1.0/RMT1.pdf#:~:text=L%2E2%80%9Faigua%20de%20mar%20%C3%A9s,en%20proporci%C3%B3%20menor%29%2C%20i>

FAO. (1994). SSF Guidelines: Proceedings of the FAO Technical Consultation on Small-Scale Fisheries.

http://www.fao.org/fishery/static/ssf/SSF_guidelines/Proceedings94SSFGuidelines.pdf#:~:text=explotaci%C3%B3n%20de%20sal%20marina%2C,entre%20ceux%20qui%20vivent

United Nations. (2011). World Ocean Assessment II.

<https://www.un.org/regularprocess/sites/www.un.org.regularprocess/files/2011859swoaiivoliiweb.pdf#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20sal,total%20de%20sal%20>

.

IRLA. (2015). Eines 23: Terra.

<https://irla.cat/wp-content/uploads/2015/10/eines23-terra.pdf#:~:text=una%20concentraci%C3%B3%20de%20CO2,necessitats%20de%20la%20humanitat%2C>

Cardó Naturisme. (2024). Dossier didàctic: Muntanya de Sal.

<https://cardonaturisme.cat/wp-content/uploads/2024/10/Dossier-didactic-Muntanya-de-Sal.pdf#:~:text=Qu%C3%A8%20%C3%A9s%20un%20mineral%3F,mineral%20concret%20sempre%20%C3%A9s>

Museu de Ciències Naturals de Barcelona. (2024). GUIAROQUES 1: Coneixements bàsics sobre les roques.

https://museuciencies.cat/wp-content/uploads/2024/07/GUIAROQUES_1_Coneixements_basics.pdf#:~:text=Els%20factors%20interns%20i,agrupar%20les%20roques%20segons

Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. (s.f.). Fitxa descriptiva dels espais d'interès geològic.

https://mediambient.gencat.cat/web/_content/home/ambits_dactuacio/patrimoni_natural/sistemes_dinformacio/inventari_despais_dinteres_geologic/consulta_de_les_fitxes_descriptives_dels_eig/documentos/217_descrip.pdf#:~:text=Aquest%20moviment%20ascendent%20de,perforar%20les%20capes%20suprajacents

25/08/2025

Wikipedia contributors. (2025, 20 de octubre). Muntanya de sal de Cardona. Viquipèdia.

https://ca.wikipedia.org/wiki/Muntanya_de_sal_de_Cardona#:~:text=La%20muntanya%20de%20sal,allargassada%20amb%20una%20extensi%C3%B3

Universitat Politècnica de Catalunya. (s.f.). Fenòmens geològics de la vall del Llobregat.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/94307/02Jfs02de12.pdf?sequence=2#:~:text=Sobresurt%20el%20fenomen%20geol%C3%B2gic,vall.%20Per%20altra%20banda%2C>

Sociedad Geológica de España. (s.f.). Composició mineralògica de les salines de Girona.

https://sge.usal.es/archivos_pdf/gdia14gui_girona.pdf#:~:text=composici%C3%B3%20mineral%C3%B2gica%20de%20les,i%20la%20temperatura.%20Els

Sal de Menorca. (s.f.). Les etapes de la producció de sal.

<https://saldemenorca.com/ca/les-etapes-de-la-produccio-de-sal/?srsltid=AfmBOopgDj-0Im6pK0yfZMF7qE6Kf1Se5-kBp4u3jpyLOkDWotV0v0A1#:~:text=L%27aigua%20de%20mar%20es,de%20sal.%20El%20producte>

Universitat Politècnica de Catalunya. (s.f.). Dinàmica de la sal marina i halocinesi.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6526/04.pdf;jsessionid=1B45B9FACB9C263B6BB2D391BFCE0563?sequence=22#:~:text=A%20les%20zones%20amb,d%27halocinesi%20de%20la%20massa>

Moragrega Bargues, J. (2014). Estudi de les salines i la vall del Llobregat (Treball de Fi de Grau, Universitat Autònoma de Barcelona).

https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2014/125887/TFG_JuditMoragregaBargues.pdf#:~:text=Per%20sobre%20trobem%20les,i%20la%20vall%20del

Hanpu Machinery. (s.f.). How to make salt: A simple guide to salt production.

<https://ca.hanpumachinery.com/info/how-to-make-salt-a-simple-guide-to-salt-produ-17305295786877952.html>

Gerri de la Sal Baix Pallars. (2008, febrero). Procés d'elaboració de la sal.

<https://gerridelasalbaixpallars.blogspot.com/2008/02/procs-delaboraci-de-la-sal.html>

IPCite. (s.f.). Inventari d'espais naturals. <https://ipcite.cat/inventari/1/3832>

IMATGES

Figura 1: Iruin, Y. (s. f.). Sobre residuos plásticos y su gestión.

<https://elblogdebuhogris.blogspot.com/2019/06/sobre-residuos-plasticos-y-su-gestion.html>

Figura 2: Raed. (2021, 4 diciembre). La Fundació RAED finalitza l'estudi pilot de contaminació marina per microplàstics. Reial Acadèmia Europea de Doctors.

<https://raed.academy/ca/la-fundacio-raed-finalitza-lestudi-pilot-de-contaminacio-marina-per-microplastics/>

Figura 3: 4. Materials polímers — Site. (s. f.-b).

<https://tecnologiaisostenibilitat.upc.edu/continguts/materials/4.-materials-polimers.html>

Figura 4:

Griem, W. (2020). Apuntes geología general: La sal [Imagen]. Museo Virtual.

<https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05f.htm>

Figura 5:

Barroso Bermejo, R., Bueno Ramírez, P., De Balbín-Behrmann, R., & Lancharro, M. Á. (2017, enero). Map of salt sources in Europe with the location of the study area (after Harding 2013, Fig. 7.1) [Imagen]. ResearchGate.

https://www.researchgate.net/figure/Map-of-salt-sources-in-Europe-with-the-location-of-the-study-area-after-Harding-2013_fig2_321586264

Figura 6: Font: Propi.

Figura 7: Sarai. (11 abril 2021). Karst en Sal de Cardona. The Underground Adventure. Recuperado de <https://undergroundadventure.cat/karst-de-sal-de-cardona/>

Figura 8: Zhang, G., Wang, Z., Zhang, K., ... & Zhang, H. (2018). Collapse mechanism of the overlying strata above a salt cavern by solution mining with double-well convection [Fig. 1]. Environmental Earth Sciences. Recuperado de

https://www.researchgate.net/figure/Solution-mining-with-double-well-convection_fig1_327158314

Figura 9: font propi

Figura 10: font propi

Figura 11: font propi

Figura 12: font propi

Figura 13: font propi

Figura 14: font propi

5. Annexos

ANNEX 1. RECOMPTE MICROPLÀSTICS TOTALS HIMÀLAIA

Mostra: Filtre blanc de l'Himàlaia.

Tipus de mostra: Grup control.

Núm. de microplàstic	Forma	Mida	Color
1	fibra	1 mm	taronja
2	fibra	1 mm	taronja
3	fibra	2 mm	transparent

Taula 3: Anàlisi de cada microplàstic del grup control de la mostra de l'Himàlaia. **Font:** Propi

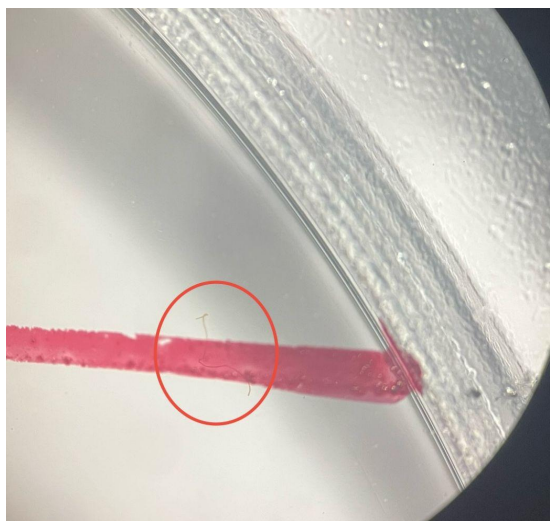


Figura 15: Fibra taronja grup control Himàlaia.
Font: Propi.



Figura 16: Fibra taronja grup control Himàlaia.
Font: Propi

Mostra: Sal de l'Himàlaia.

Tipus de mostra: Sal continental.

Núm. de microplàstic	Forma	Mida	Color
1	fibra	1 mm	transparent
2	fibra	3 mm	blanc
3	fibra	0,5 mm	negre

4	fibra	3,5 mm	gropa
5	fibra	1 mm	negre
6	fibra	5 mm	blanc
7	fibra	1 mm	negre
8	fibra	1 mm	gropa
9	fibra	1 mm	negre
10	fibra	0,5 mm	negre
11	fibra	0,5 mm	negre
12	fibra	0,1 mm	negre
13	fibra	1 mm	blanc
14	fibra	1 mm	negre
15	fibra	1 mm	gropa

Taula 4: Anàlisi de cada microplàstic de la mostra de l'Himàlaia. **Font:** Propi.



Figura 17: Fibra transparent mostra Himàlaia.
Font: Propi.



Figura 18: Fibra negra mostra Himàlaia.
Font: Propi

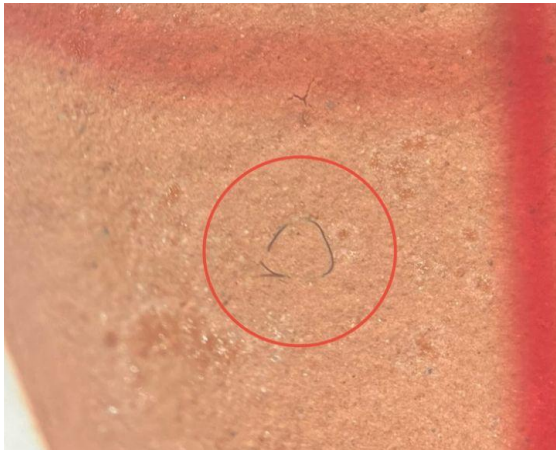


Figura 19: Fibra negra mostra Himàlaia.
Font: Propi.



Figura 20: Fibra blanca mostra Himàlaia.
Font: Propi



Figura 21: Fibra negra mostra Himàlaia. **Font:** Propi.

Total de microplàstics (sal Himàlaia):

Microplàstics totals = microplàstics mostra (microplàstics analitzats - fibres taronges) -
microplàstics grup control (microplàstics analitzats - fibres taronges)

Microplàstics mostra = 15

Microplàstics grup control = 3 - 2 = 1

Microplàstics totals = 15 - 1 = 14 microplàstics totals

ANNEX 2. RECOMPTE MICROPLÀSTICS TOTALS SAL DE CARDONA

Mostra: Filtre blanc de Cardona.

Tipus de mostra: Grup control.

Núm. de microplàstic	Forma	Mida	Color
0	0	0	0

Taula 5: Anàlisi de cada microplàstic del grup control de la mostra de Cardona. **Font:** Propi.

Mostra: Sal de Cardona.

Tipus de mostra: Sal continental.

Núm. de microplàstic	Forma	Mida	Color
1	fibra	0,4 mm	negre

Taula 6: Anàlisi de cada microplàstic de la mostra de Cardona. **Font:** Propi.



Figura 22: Fibra negra mostra Cardona. **Font:** Propi.

Total de microplàstics (sal de Cardona):

Microplàstics totals = microplàstics mostra (microplàstics analitzats - fibres taronges) -
microplàstics grup control (microplàstics analitzats - fibres taronges)

Microplàstics mostra = 1

Microplàstics grup control = 0

Microplàstics totals = 1 microplàstic total

ANNEX 3. RECOMPTE MICROPLÀSTICS TOTALS SAL DE GUÉRANDE

Mostra: Filtre blanc de Guérande.

Tipus de mostra: Grup control.

Núm. de microplàstic	Forma	Mida	Color
1	fibra	0,5 mm	taronja
2	fibra	0.3 mm	taronja

Taula 7: Anàlisi de cada microplàstic del grup control de la mostra de Guérande. **Font:** Propi.



Figura 23: Fibra taronja grup control Guérande.
Font: Propi.



Figura 24: Fibra taronja grup control Guérande.
Font: Propi.

Mostra: Sal de Guérande.

Tipus de mostra: Sal marina atlàntica.

Núm. de microplàstic	Forma	Mida	Color
1	fibra	0,8 mm	taronja
2	fibra	0,5 mm	groc
3	fibra	0,3 mm	negre
4	fibra	0,5 mm	negre
5	film	0,8 mm	negre
6	fibra	0,5 mm	negre
7	fibra	0,3 mm	negre

8	fibra	1,2 mm	vermell
9	fragment	0,1 mm	blau
10	fibra	0,3 mm	negre
11	pèl·let	1/3 mm	marró
12	fragment	1 mm	negre
13	fibra	0,5 mm	negre
14	fibra	0.5 mm	negre
15	fibra	0,2 mm	negre
16	fibra	0.3 mm	negre
17	fibra	1 mm	blau fosc
18	fibra	0,8 mm	blau fosc

Taula 8: Anàlisi de cada microplàstic de la mostra de Guérande. **Font:** Propi.



Figura 25: Fragment negre mostra Guérande.
Font: Propi.



Figura 26: Pèl·let marró mostra Guérande.
Font: Propi.

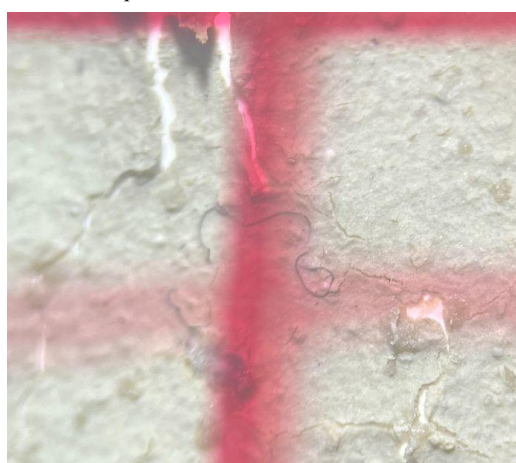


Figura 27: Fragment negre mostra Guérande.

Font: Propi.

Figura 28: Fibra negra mostra Guérande.

Font: Propi.

Total de microplàstics (sal de Guérande):

Microplàstics totals = microplàstics mostra (microplàstics analitzats - fibres taronges) - microplàstics grup control (microplàstics analitzats - fibres taronges)

Microplàstics mostra = 18 - 1 = 17

Microplàstics grup control = 2 - 2 = 0

Microplàstics totals = 17 microplàstics totals

ANNEX 4. RECOMPTE MICROPLÀSTICS TOTALS SAL COSTA

Mostra: Filtre blanc de Costa.

Tipus de mostra: Grup control.

Núm. de microplàstic	Forma	Mida	Color
1	fibra	0,3 mm	negre
2	fibra	1 mm	negre

Taula 9: Anàlisi de cada microplàstic del grup control de la mostra de Costa. Font: Propi.



Figura 29: Fibres negres grup control Costa. Font: Propi.

Mostra: Sal Costa.

Tipus de mostra: Sal marina mediterrània.

Núm. de microplàstic	Forma	Mida	Color
1	fibra	0,2 mm	negre
2	fibra	0.5 mm	blanc
3	fibra	1 mm	blanc

4	fibra	0.2 mm	negre
5	fibra	0.1 mm	taronja
6	fibra	1 mm	transparent
7	fibra	0.3 mm	taronja
8	fibra	1 mm	lila
9	fibra	0.5 mm	groc
10	fibra	1 mm	verd clar
11	fibra	2 mm	vermell
12	fibra	0.5 mm	groc
13	fibra	1 mm	blanc
14	fibra	2 mm	lila
15	fibra	0,5 mm	lila
16	fibra	1 mm	groc
17	fibra	1 mm	lila
18	fibra	2 mm	taronja
19	fibra	3 mm	lila
20	fibra	0,5 mm	blanc
21	fibra	4 mm	groc
22	fibra	0,4 mm	taronja
23	fibra	0,1 mm	blau
24	fibra	4 mm	lila
25	fibra	4 mm	blanc
26	fibra	2 mm	blanc
27	fibra	0,5 mm	marró
28	fibra	0,5	taronja
29	fibra	3 mm	negre
30	fibra	0,5 mm	negre

31	fibra	0,8 mm	vermell
32	fibra	1 mm	groc
33	fibra	0,3 mm	lila
34	fibra	1 mm	lila
35	fibra	1 mm	maró
36	fibra	2 mm	blau fosc
37	fibra	1 mm	marró
38	fibra	1 mm	groc
39	fibra	1 mm	groc
40	fibra	1,5 mm	blanc
41	fibra	0,2 mm	marró
42	fibra	3 mm	groc
43	fibra	1 mm	vermell
44	fibra	2 mm	lila
45	fibra	4 mm	groc
46	fibra	0,3 mm	negre
47	fibra	1 mm	negre
48	fibra	0,5 mm	vermell
49	fibra	0,5 mm	verd
50	fibra	0,5 mm	taronja
51	fibra	1,5 mm	marró
52	fibra	2 mm	negre
53	fibra	0,6 mm	groc
54	fibra	1,5 mm	blau
55	fibra	2 mm	transparent
56	fibra	1 mm	groc
57	fibra	1 mm	blau clar

58	fibra	1 mm	blanc
59	fibra	1 mm	blau fosc
60	fibra	1 mm	vermell
61	fibra	5 mm	groc
62	fibra	1 mm	groc
63	fibra	1 mm	negre
64	fibra	1 mm	blau clar
65	fibra	2 mm	taronja
66	fibra	1 mm	negre
67	fibra	3 mm	marró
68	fibra	1 mm	negre
69	fibra	1 mm	groc
70	fibra	2 mm	taronja
71	fibra	2 mm	transparent
72	fibra	3 mm	transparent
73	fibra	0,8 mm	transparent
74	fibra	1 mm	rosa
75	fibra	1 mm	negre
76	fibra	4 mm	transparent
77	fibra	3 mm	transparent
78	fibra	1 mm	transparent
79	fibra	1 mm	transparent
80	fibra	1 mm	groc
81	fibra	4 mm	groc
82	fibra	0,8 mm	blau fosc
83	fibra	2 mm	blau fosc
84	fibra	2 mm	groc

85	fragment esponjós	0,5 mm	transparent
86	fibra	1 mm	vermell
87	fibra	1 mm	groc
88	fibra	0,6 mm	transparent
89	fibra	2 mmm	blau fosc
90	fibra	2 mm	marró
91	fibra	5 mm	groc
92	fibra	4 mm	transparent
93	fibra	1 mm	transparent
94	fibra	2 mm	lila
95	fibra	1 mm	marró
96	fibra	2 mm	blanc
97	fibra	1 mm	taronja
98	fibra	2 mm	lila
99	fibra	2 mm	transparent
100	fibra	2 mm	lila
101	fibra	0,3 mm	vermell
102	fibra	1 mm	rosa
103	fibra	0,5 mm	blau
104	fibra	2 mm	negre
105	fibra	1 mm	marró
106	fibra	1 mm	marró
107	fibra	1 mm	transparent
108	fibra	1 mm	verd clar
109	fibra	2 mm	blau clar
110	fibra	2 mm	blau fosc
112	fibra	1 mm	negre

113	fibra	2 mm	lila
114	fibra	1 mm	transparent
115	fibra	1 mm	blau clar
116	fibra	1 mm	transparent
117	fibra	1 mm	transparent
118	fibra	1 mm	taronja
119	fibra	2 mm	transparent
120	fibra	1 mm	lila
121	fibra	2 mm	lila
123	film	2 mm	transparent
124	fibra	4 mm	transparent
125	fibra	2 mm	groc
126	fibra	1 mm	taronja
127	fibra	0,5 mm	negre
128	fibra	0,5 mm	lila
129	fibra	2 mm	vermell
130	fibra	0,6 mm	blau clar
131	fibra	2 mm	blau fosc
132	fibra	1 mm	rosa
133	fibra	0,5 mm	verd clar
134	fibra	0,5 mm	rosa
135	fibra	2 mm	groc
136	fibra	2 mm	groc
137	fibra	2 mm	transparent
138	fibra	1,5 mm	vermell
139	fibra	2 mm	groc
140	fibra	1 mm	marró

141	fibra	1 mm	transparent
-----	-------	------	-------------

Taula 10: Anàlisi de cada microplàstic de la mostra de Guérande. **Font:** Propi.



Figura 30: Diverses fibres mostra Costa. **Font:** Propi.

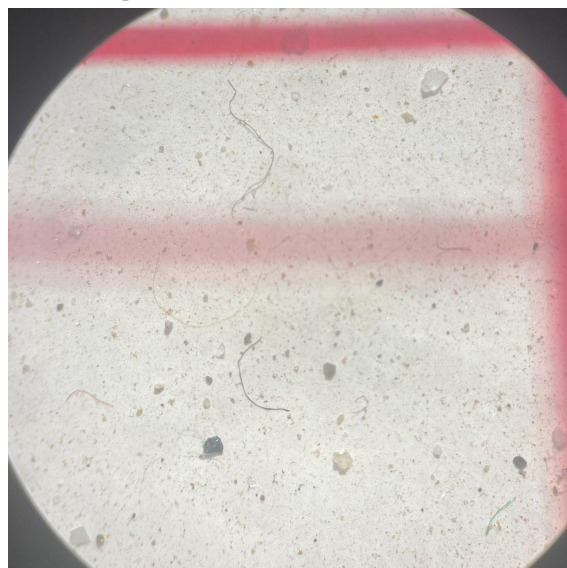


Figura 31: Diverses fibres mostra Costa. **Font:** Propi.

Total de microplàstics (sal Costa Fina):

Microplàstics totals = microplàstics mostra (microplàstics analitzats - fibres taronges) - microplàstics grup control (microplàstics analitzats - fibres taronges)

Microplàstics mostra = 141 - 11

Microplàstics grup control = 2

Microplàstics totals = 130 - 2 = 128 microplàstics totals

ANNEX 5. RECOMPTE MICROPLÀSTICS TOTALS AIGUA AIXETA

Mostra: Aigua d'aixeta.

Tipus de mostra: Protocol.

Núm. de microplàstic	Forma	Mida	Color
1	fibra	0,3 mm	negre
2	fibra	1 mm	blanc
3	fibra	1 mm	blanc
4	fibra	2 mm	taronja
5	fibra	0,8 mm	blanc
6	fibra	0,5 mm	blanc
7	fibra	1 mm	taronja

8	fibra	0,5 mm	taronja
9	fibra	1 mm	blau fosc
10	fibra	1 mm	taronja
11	fibra	0,5 mm	taronja
12	fibra	0,5 mm	blau fosc
13	fibra	0,5 mm	blau fosc

Taula 11: Anàlisi de cada microplàstic del protocol de l'aigua de l'aixeta. **Font:** Propi.



Figura 32: Diverses fibres mostra aigua aixeta.
Font: Propi.

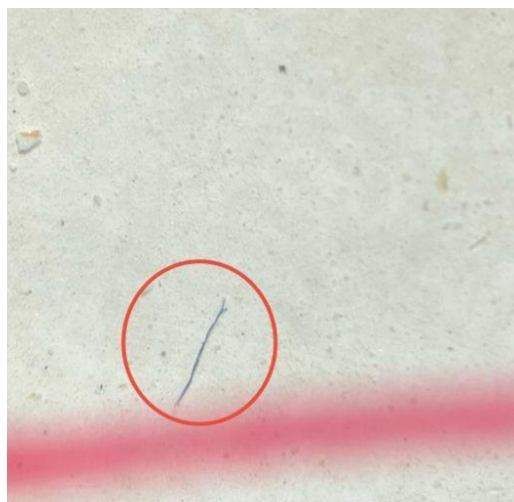


Figura 33: Fibra blava mostra aigua aixeta.
Font: Propi.

ANNEX 6. CÀLCULS PER AL CAS HIPOTÈTIC

DADES:

1 dia = 6 g de sal

$$\text{Microplàstics per gram} = \frac{\text{microplàstics en 50 g}}{50}$$

1 any = 365 dies

$$\text{Microplàstics diaris} = \text{Microplàstics per gram} \times 6$$

$$\text{Microplàstics anuals} = \text{Microplàstics diaris} \times 365$$

Sal de l'Himàlaia:

$$\text{Microplàstics per gram} = \frac{14}{50} = 0,28$$

$$\text{Microplàstics diaris} = 0,28 \times 6 = 1,68$$

$$\text{Microplàstics anuals} = 1,68 \times 365 = 613,2$$

Sal de cardona:

$$\text{Microplàstics per gram} = \frac{1}{50} = 0,02$$

$$\text{Microplàstics diaris} = 0,02 \times 6 = 0,12$$

$$\text{Microplàstics anuals} = 0,12 \times 365 = 43,8$$

Sal de Guérande Le Paludier:

$$\text{Microplàstics per gram} = \frac{17}{50} = 0,34$$

$$\text{Microplàstics diaris} = 0,34 \times 6 = 2,04$$

$$\text{Microplàstics anuals} = 2,04 \times 365 = 744,6$$

Sal Costa:

$$\text{Microplàstics per gram} = \frac{128}{50} = 2,56$$

$$\text{Microplàstics diaris} = 2,56 \times 6 = 15,36$$

$$\text{Microplàstics anuals} = 15,36 \times 365 = 5606,4$$