



UNIÓN DE ASOCIACIONES
DE INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES Y GRADUADOS
EN LA INGENIERÍA DE LA
RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA



UNIÓN DE ASOCIACIONES
DE INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES Y GRADUADOS
EN LA INGENIERÍA DE LA
RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA



**UNIÓN DE ASOCIACIONES DE INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES Y
GRADUADOS EN INGENIERÍA DE LA RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA (UAIIE)**

“CONVOCATORIA 2025”

X PREMIO NACIONAL DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

EXTRACCIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL AGUA UTILIZANDO FERROFLUIDO MAGNÉTICO

**Luca de Rueda Oostrik, María
IES Margarita Salas**

**Tutoras: Blanca López Fernández y
Bárbara Bautista Carmona**

Madrid, febrero 2025



1. Introducción	3
1.1. El proyecto	3
1.2. Justificación personal	3
1.3. Hipótesis de partida	3
1.4. Objetivos	3
2. Marco teórico	4
2.1. Plásticos	4
2.2. Los microplásticos	5
2.3. Efectos en la salud de los microplásticos	6
2.4. Ferrofluidos	6
2.5. Extracción con ferrofluidos	7
2.6. Espectrofotómetro	7
2.7. Sostenibilidad y seguridad	7
2.8. Métodos alternativos de extracción	8
2.9. Alternativas al plástico	8
3. Metodología	9
3.1. Elaboración de muestras	9
3.2. Elaboración de los ferrofluidos	11
3.3. Extracción de microplásticos	12
3.4. Análisis de concentración con espectrofotómetro	13
3.5. Elaboración del Biopolímero	13
4. Análisis de resultados	14
5. Conclusiones	19

1. Introducción

1.1. El proyecto

El proyecto afronta el desafío de la extracción de microplásticos del agua, partículas diminutas que se originan principalmente de la degradación de plásticos en el ambiente debido a la radiación solar y la acción mecánica. Aunque estas partículas parecen insignificantes por su tamaño, tienen un impacto significativo en la salud humana y el ecosistema.

Estudios recientes han demostrado que una persona promedio podría estar ingiriendo aproximadamente 5g de microplásticos cada semana ¡El equivalente al peso de una tarjeta de crédito! Estos microplásticos ingresan a nuestro cuerpo a través del aire, los alimentos que consumimos y, en particular, el agua, que es el foco principal de mi investigación. Lo más preocupante de estos microplásticos es que actúan como disruptores endocrinos. Imitan el comportamiento de nuestras hormonas, interfiriendo con el equilibrio hormonal del cuerpo, provocando efectos adversos que pueden variar desde problemas de fertilidad hasta el desarrollo de enfermedades crónicas [1].

La investigación se ha centrado en una solución innovadora que podría mitigar este creciente problema: el uso de ferrofluidos. Éstos son unos líquidos magnéticos que pueden atraer los plásticos, y posteriormente ser extraídos por un imán. Se explora la viabilidad técnica de esta propuesta en comparación con otras, y se elabora un marco teórico coherente, en el que se incluye toda la información necesaria para entender a fondo el proyecto.

1.2. Justificación personal

Alrededor del 75% de los plásticos son desperdiciados, y de ellos, 87% se degrada en el medioambiente, convirtiéndose en contaminación plástica. Se estima que para 2025 habrá 1 tonelada de plástico en el océano por cada 3 toneladas de peces. Además, el uso del plástico, y por tanto la cantidad de plástico en el medioambiente está creciendo exponencialmente. Esto es un gran problema, y es evidente que debemos actuar lo antes posible. Es la responsabilidad de nuestra generación joven acabar con esta crisis medioambiental que hemos heredado antes de que sea demasiado tarde [1].

Siempre me han fascinado las asignaturas de ciencias como biología, tecnología y química, y este proyecto combina todos esos ámbitos. En este proyecto aplico muchos conocimientos previos, pero también he aprendido a investigar y formarme por mi cuenta. Creo que este proyecto también me ha ayudado a tener una mejor idea de que ámbitos me interesan más, para elegir mejor mi carrera, y prepararme mejor para ella. Me motiva intentar hacer que nuestro planeta sea más un lugar sostenible, e inspirar a más jóvenes a que investiguen.

Con este proyecto, he decidido aportar mi granito de arena para combatir esta crisis, centrándome en la reducción de la ingesta de microplásticos que encontramos en nuestras fuentes de agua, minimizando los efectos a la salud de este gran problema. Creo que es esencial conseguir encontrar soluciones creativas e innovadoras a los problemas medioambientales. Sin embargo, la raíz del problema está en el sobreuso del plástico, y es extremadamente importante que encontremos y usemos materiales alternativos, como el bioplástico que elaboro en este proyecto.

1.3. Hipótesis de partida

La aplicación de ferrofluidos, gracias a sus propiedades magnéticas, permitirá eliminar de manera eficiente los microplásticos del agua. De esta manera, mejoraremos la calidad del agua, y eliminaremos la exposición a estos disruptores endocrinos. Se espera conseguir un porcentaje de extracción en torno al 90%, y demostrar que esta solución es sostenible, económica, segura y altamente prometedora frente al problema al que nos enfrentamos.

1.4. Objetivos

- **Concienciar sobre el problema actual con el plástico y el medio ambiente.** Aunque la gran mayoría de la población sea consciente del sobreuso y contaminación de los plásticos, es imperativo concienciar sobre la verdadera gravedad del problema, y las consecuencias que pueden darse si no actuamos.
- **Dar a conocer el problema de los microplásticos.** Los microplásticos pueden pasar desapercibidos al no ser visibles, y muchas personas no son conscientes de que estamos consumiendo plástico constantemente, y de que puede tener un gran número de efectos negativos sobre nuestra salud.
- **Diseñar una metodología simple y reproducible,** que sirva para ilustrar cómo funciona el método, demostrar que es viable y captar la atención del mundo científico y empresas patrocinadoras con el proyecto.
- **Ayudar a mejorar la salud de nuestra población.** Eliminar estos microplásticos del agua evita su efecto negativo sobre los sistemas inmunológico e inmunitario, y puede reducir el riesgo del desarrollo de enfermedades crónicas.
- **Evaluar la eficiencia de los ferrofluidos para extraer microplásticos.** Se demuestra que nos enfrentamos a un problema grave, y se analiza si utilizar ferrofluidos es la mejor solución para este problema. Se estudia la viabilidad y rentabilidad de este método, comparándolo con otras alternativas existentes.
- **Crear una base informativa y divulgativa,** con el fin de promover más investigación en esta área, que se descubra antes si el método de usar ferrofluido para extraer microplásticos es algo que se puede aplicar de verdad a gran escala, y que en el futuro cercano se empiece a aplicar para combatir esta crisis.
- **Contribuir al desarrollo de tecnologías sostenibles,** cumpliendo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, en concreto los objetivos: 3. Salud y bienestar, 6. Agua limpia y saneamiento, 13. Acción por el clima y 14. Vida submarina [2].

2. Marco teórico

2.1. Plásticos

El desarrollo del plástico empezó con el descenso de las reservas de marfil, obtenido de los colmillos de elefante, un material muy usado en los Estados Unidos. John Wesley Hyatt creó un compuesto que llamó “celuloide” con celulosa en alcanfor y etanol, consiguiendo reducir el uso del marfil, los tapados de piel, y el calzado de cuero, reduciendo la crueldad animal. El celuloide también fue clave para el rodaje de películas, permitiendo la distribución de las primeras películas de Hollywood. En 1907, Leo Baekeland inventó la baquelita, el primer plástico verdadero. Más tarde, empezaron a aparecer los plásticos modernos, como el PVC, un plástico que sigue en uso actualmente. También aparecieron los acrílicos, que se usaron como sustitutos más resistentes del cristal, y nylon para uso textil [3], [4], [5].

El plástico es un material prometedor. Es barato, estéril, y práctico, y ha cambiado nuestra vida para mejor. Los plásticos son materiales sintéticos o semisintéticos que provienen de compuestos orgánicos. Principalmente están formados por polímeros sintéticos, largas cadenas de moléculas repetidas, llamadas monómeros, que en plásticos que suelen ser derivados del petróleo o del gas natural, y están creados de forma artificial. El crecimiento de la industria del plástico ha promovido avances en medicina, tecnología y alimentos, debido a su resistencia, ligereza y maleabilidad. En 2021, la producción mundial de plástico aumentó un 4 %, hasta superar los 390 millones de toneladas [4], [5], [6].

El plástico ha facilitado la creación de dispositivos médicos seguros, incluyendo prótesis y jeringuillas desechables. El desarrollo del plástico fue clave para la extensión de la música, mejorando la vida útil de grabaciones, y

permitiendo la existencia de los discos de vinilo, cintas de casete, y el CD. Además, el plástico cuenta con un bajo coste de producción, y no necesita excesivo trabajo manual para elaborarse. Al ser una materia prima abundante y barata, el uso de este material se ha extendido por todo el planeta. También se utiliza en paquetes para extender la fecha de caducidad de alimentos. El plástico también tuvo un papel vital en la segunda guerra mundial, con paracaídas de nylon, acrílico para ventanas de avionetas y cascos más ligeros de plástico [4], [5].

Sin embargo, pese a la gran cantidad de ventajas del plástico, el uso del plástico se nos ha ido de las manos. El plástico tiene un impacto ambiental significativo, ya que los residuos plásticos requieren entre 500 y 1000 años para degradarse. Estamos llenando nuestro entorno y el ecosistema de contaminación plástica, llegando a ser ingerido por animales, perjudicando la vida, especialmente la marina y la biodiversidad global. Y ahora está empezando a entrar en nuestro cuerpo, lo que perjudica gravemente la salud [4].

Existen diversos tipos de plásticos, cada uno con características específicas que los hacen aptos para distintas aplicaciones. Según el distinto tipo de plástico, encontraremos un número de reciclaje distinto [7], [8], [9].

- **Polietileno (PE):** es el plástico más utilizado, especialmente en su forma de polietileno de alta densidad (HDPE, nº2), que es fuerte y resistente a la humedad y productos químicos, y es utilizado en botes, contenedores, construcción, tuberías
- **Polipropileno (PP, nº5):** es duradero y flexible, se utiliza en productos como envases de alimentos, tapones de botellas y utensilios de cocina. Su propiedad característica es una resistencia más elevada a la temperatura respecto a otros plásticos.

2.2. Los microplásticos

Los microplásticos son partículas de plástico diminutas, de menos de 5 milímetros de diámetro. Los microplásticos se encuentran en todas partes, en el agua, el suelo el aire, incluso en el hielo de los polos. Se están tomando medidas para reducir los microplásticos en el ambiente, pero no es suficiente, ya que tan solo en suelos europeos acaban entre 31.000 y 42.000 toneladas de microplásticos.

Debido a su pequeño tamaño, son fácilmente consumidos por organismos marinos, aves y seres humanos, lo que constituye un riesgo para el medio ambiente y la salud. Estas partículas se encuentran en los océanos, el suelo y el aire, dispersándose mediante corrientes de agua y viento, y pueden acumularse en toda la cadena alimentaria. Además, al ser tan pequeños son difíciles de filtrar de forma efectiva. La contaminación plástica se divide, según la ISO TR-21960-2020 en 4 tipos: Hay macroplásticos, más grandes que 5 mm, microplásticos grandes, entre 1 mm y 5 mm, microplásticos, con tamaño desde 1 μ m a 1 mm, y nanoplásticos, invisibles a simple vista, con un tamaño inferior a 1 μ m, que son 10 a 100 veces más abundantes que los microplásticos en número.

Los microplásticos se generan a partir de distintos plásticos. Los microplásticos más comunes en el mar y el agua potable son, en orden de mayor cantidad a menor cantidad el PE, PP y PS. En las botellas de plástico se pueden encontrar entre 130.000 y 240.000 microplásticos y Nanoplásticos, principalmente de PET, que proviene de la botella en la que se guarda el agua [10], [11], [12], [13].

- **Microplásticos primarios:** son partículas de plástico diseñadas para ser pequeñas desde su creación. La fuente más común de microplásticos primarios es por el desgaste de neumáticos (28%), que libera partículas pequeñas al aire. Otros ejemplos comunes son las microesferas presentes en productos de cuidado, como exfoliantes, y las fibras de ropa sintética, que se desprenden al lavarse.
- **Microplásticos secundarios:** Son los más abundantes. Proviene de la descomposición de plásticos más grandes, como botellas, bolsas y redes de pesca, que se fragmentan con el tiempo debido a la exposición al

sol, y la acción mecánica del viento y el agua. Estos fragmentos tardan siglos en descomponerse, liberando microplásticos durante todo el proceso.

2.3. Efectos en la salud de los microplásticos

Los microplásticos representan un gran riesgo ecológico, especialmente para los animales acuáticos y los humanos. La mayoría se concentra en el mar, pueden encontrarse en la superficie, formando agregados marinos sedimentados y en heces de distintos peces. Su composición física y química influye en su toxicidad, pero aún falta mucha investigación sobre cómo exactamente afectan a la salud, por lo que no están oficialmente declarados como tóxicos. Hay varias vías de exposición a microplásticos distintas, mediante Ingestión, Inhalación, o contacto con la piel.

Pese a que no existe evidencia directa de una alta toxicidad de los microplásticos presentes abundantemente en el medio ambiente, se han encontrado muchos efectos adversos a la salud. Las partículas de microplásticos pueden atravesar muchas barreras biológicas y entrar en contacto directo con las membranas lipídicas, la barrera protectora de las células frente al entorno. Los microplásticos también pueden estar aditivos peligrosos como el bisfenol A (BPA), o unirse a químicos nocivos durante su degradación, que también son introducidos en nuestro cuerpo junto con los microplásticos. Entre los efectos destacados se incluye el estrés oxidativo, daño celular y del ADN, inflamación, respuestas inmunológicas, neurotoxicidad y problemas en los sistemas digestivo, respiratorio, reproductivo y nervioso. Además, muchos plásticos tienen compuestos que actúan como hormonas, rompiendo el delicado balance hormonal de nuestro cuerpo. También se han llevado a cabo estudios que demuestran que los microplásticos pueden capturar partículas y organismos patógenos, causando el contagio de muchas enfermedades [14], [15], [16], [17].

2.4. Ferrofluidos

Los ferrofluidos son líquidos con propiedades magnéticas. Esto se debe a que tienen suspendidas nanopartículas de magnetita de unos 10 nm, aproximadamente. Estas partículas están formadas con magnetita, un mineral que normalmente es magnético, pero en nanopartículas es paramagnético, es decir, reacciona a otros campos magnéticos. También existen otras alternativas a la magnetita, como la ferrita de cobalto. Los ferrofluidos no se pueden encontrar de manera natural, y deben sintetizarse.

Los ácidos grasos del aceite actúan como surfactantes, y se disponen alrededor de las nanopartículas de aceite, como vemos en la figura 1. Se produce una adsorción, la magnetita y el aceite se atraen según la fisisorción, por el grupo carboxilo del ácido graso con los grupos hidroxilo. Después se generan enlaces químicos entre ambos compuestos por quimisorción.

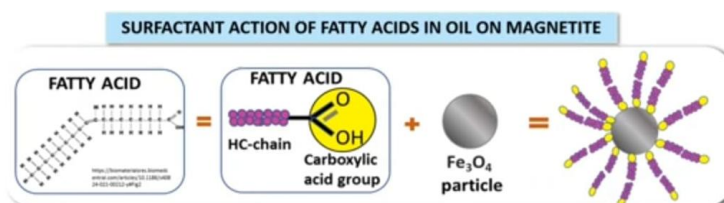


Figura 1. Ilustración de la acción de los ácidos grasos sobre nanopartículas de magnetita

Fuente: <https://m.youtube.com/watch?v=H29xxT1Q6nE>

Los ferrofluidos cuentan con una gran variedad de aplicaciones aparte de extracción de microplásticos. Se utiliza como amortiguador térmico y sonoro en altavoces. En el sector aeronáutico se usa en las puntas de aviones para evitar la detección en radares. También podemos encontrar ferrofluido en algunos sistemas de control de la NASA.

Varios estudios han demostrado que se puede utilizar para detectar cáncer y que se puede usar hipertermia como tratamiento complementario a la radioterapia y quimioterapia [18], [19], [20], [21].

2.5. Extracción con ferrofluidos

Como se detalla en la metodología, los microplásticos serán extraídos de las disoluciones utilizando ferrofluidos. Los microplásticos se adhieren a la mezcla de aceite y magnetita, pero no se disuelven en el agua, porque esta repele el ferrofluido. Los plásticos son polímeros orgánicos apolares, y son atraídos por los aceites, y las nanopartículas de magnetita son rodeadas por los ácidos grasos del aceite, facilitando la unión a los microplásticos y otros contaminantes. Al aplicar un campo magnético, el ferrofluido es atraído, atrapando los microplásticos.

Además, hay estudios que han demostrado que los ferrofluidos pueden ser reusados, para así minimizar la pérdida de este material, y reducir los deshechos del método [20], [21].

2.6. Espectrofotómetro

La espectrofotometría es una técnica analítica utilizada para medir la cantidad de luz absorbida por una muestra en función de la longitud de onda. Los espectrofotómetros cuentan con una fuente de luz, que atraviesa la muestra y después un detector mide la intensidad del haz de luz, y obtiene la absorbancia. En este proyecto se utilizaron dos:

- **Bio-Rad SmartSpec™ Plus:** un espectrofotómetro de cubetas más antiguo y básico.
- **NanoDrop™ One:** un espectrofotómetro más moderno, que analiza gotas de 1-2 μL .

La ley de Beer-Lambert es una ecuación fundamental en espectroscopia que describe cómo un haz de luz es absorbido al pasar a través de una muestra. Esta ley es válida solo en concentraciones bajas, donde no haya interferencias como dispersión o saturación. La expresión matemática de la ley de Beer-Lambert es la siguiente:

$$A = \epsilon \cdot b \cdot C$$

- Absorbancia (**A**), la cantidad de luz absorbida por la muestra en el espectrofotómetro. Es adimensional.
- Coeficiente de absorción molar (ϵ), la capacidad de la sustancia para absorber luz. Depende de la sustancia y la longitud de onda de la luz utilizada. Se mide en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$
- Longitud del camino óptico (**b**), el ancho de la gota o la cubeta, medida en cm
- Concentración (**C**), medida en mol/L

De esta manera, si se comprueban las condiciones de esta ley, podremos afirmar que la absorbancia aumenta linealmente respecto a la concentración, la longitud del camino óptico y el coeficiente de absorción molar. Por tanto, si la longitud del camino óptico es constante, y el tipo soluto a estudiar también, **b** y ϵ serán constantes, por lo que la absorbancia y la concentración serán directamente proporcionales para dos mediciones cualquiera en esas condiciones.

Es recomendable elaborar una curva patrón, una gráfica absorbancia-concentración con la cual se puede comprobar la ley de Beer-Lambert y demostrar la relación lineal entre la absorbancia y la concentración, como se muestra en la metodología [22]

2.7. Sostenibilidad y seguridad

La extracción de microplásticos con ferrofluidos además se presenta como una alternativa muy sostenible y segura al creciente problema de la contaminación plástica.

Ni el aceite vegetal ni la magnetita pueden afectar la calidad de los suelos o al medio ambiente en cantidades bajas. Incluso, la magnetita puede ser usada para eliminar metales pesados y mejorar la calidad del suelo. Además, las propiedades magnéticas del ferrofluido facilitan la remediación en caso de que algún problema cause que el ferrofluido se libere al medio ambiente. Además, este método de extracción no conlleva grandes costos energéticos, y genera muy pocos residuos.

En el caso de que hubiese algún pequeño error durante la extracción y la muestra se contaminase con magnetita, no causaría un problema grave, ya que, según distintos estudios, es segura en dosis bajas. La magnetita se ha utilizado incluso en aplicaciones médicas, como tratamiento de cáncer y suministro de medicamentos en regiones específicas gracias a las propiedades magnéticas de este material. Además, se ha usado, experimentalmente, en células animales como método para eliminar metales pesados. Estas aplicaciones demuestran que es un material seguro en pequeñas cantidades, y que un pequeño error no tendría consecuencias graves. Además, se ha optado por aceites seguros para su consumo, en vez de otros comúnmente utilizados para elaborar ferrofluidos, como el aceite de motor, para garantizar la seguridad de la población en el evento de algún accidente durante la extracción [23], [24].

2.8. Métodos alternativos de extracción

Ya se han encontrado algunos métodos de extracción de microplásticos alternativos, sin embargo, la mayor parte de ellos es muy costosa, requiere mucha mano de obra, y no es muy eficiente [20].

- **Flotación con aire.** Utilizando burbujas en la muestra, es posible conseguir que floten los microplásticos, y se puede quitar la capa superior. Es un método funcional, pero poco eficiente, y requiere de mucha energía y es difícil quitar los microplásticos de la superficie sin llevarse parte del agua.
- **Filtración de membrana.** Con membranas físicas también se pueden separar microplásticos, pero los filtros se pueden acumular con microplásticos muy rápido, o romperse y no permiten el paso de agua con altos caudales.
- **Hervir agua calcárea.** Si hervimos agua muy calcárea, con altas concentraciones de CaCO_3 , este mineral encapsula los plásticos, y sedimenta en el recipiente, quitando hasta el 80% de los microplásticos, pero no toda el agua potable cumple con esta condición [25].
- **Sedimentación.** En el mar, por ejemplo, podemos encontrar microplásticos sedimentados por heces de peces, pequeñas algas, plancton, y minerales, y estos sedimentos pueden ser extraídos para que no vuelvan a mezclarse con el agua [17].

2.9. Alternativas al plástico

Una alternativa para reducir la cantidad de contaminación de plásticos y microplásticos en el medio ambiente es sustituir el plástico. De esta manera, optamos por materiales que, aunque no tengan propiedades tan ideales como los plásticos, no cuentan con los mismos problemas medioambientales y de salud que los plásticos. Pese a que estos materiales pueden ser más caros, pesados y frágiles, entre otras, debemos promover que la industria haga más uso de estos materiales. Destacan la madera, el papel, el cartón, las fibras naturales, el acero inoxidable y la Silicona [26].

Otra alternativa a los plásticos son los bioplásticos, plásticos que sean biodegradables o procedentes de fuentes renovables. Con que un plástico cumpla uno de estos requisitos se considerará Bioplástico. Estos bioplásticos se presentan como una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Los bioplásticos de fuentes biopolímeros se forman a partir de una materia prima, que es el elemento principal del polímero. Suele ser un glúcido como almidón o celulosa, o proteínas como el gluten o la gelatina. También se les suele añadir un plastificante, como glicerina u otros tipos de alcoholes. Gracias a su estructura, debilitan las fuerzas intermoleculares y permiten que el plástico sea más flexible. Tienden a ser más frágiles y menos duraderos, pero pueden ser útiles en algunos casos como envases para comida. Además, estos biopolímeros carecen de compuestos que sean disruptores endocrinos, y, en algunos casos, son incluso aptos para el consumo accidental [27], [28].

3. Metodología

Para la parte experimental del proyecto, se llevaron a cabo una serie de pruebas para analizar la viabilidad de la extracción de microplásticos utilizando ferrofluido. Para estas pruebas, se prepararon distintas mezclas de agua con microplásticos, y 4 ferrofluidos. Se añadieron plásticos adicionales al agua para tener una muestra sustancial, ya que el agua que consumimos no presenta suficientes microplásticos como para poder medir la extracción de manera eficaz. De esta manera, fue más fácil observar cómo varía la extracción si se cambian variables como el tipo de aceite y la cantidad de magnetita en el ferrofluido.

En el laboratorio del Instituto de Salud Carlos III en Majadahonda se analizaron las muestras, previamente preparadas, para calcular la eficiencia del método.

Todas las muestras serán analizadas por el espectrofotómetro Nanodrop™ One, que medirá la absorbancia de cada mezcla, antes y después de la extracción de los microplásticos. Todos los datos se recogieron en una tabla de Excel, y se elaboraron gráficas para analizar los resultados. Podemos ver todo el proceso en la figura 2.



Figura 2. Esquema metodología

3.1. Elaboración de muestras

Para llevar a cabo el análisis de la viabilidad de la extracción de microplásticos con ferrofluido, se añadieron microplásticos, de cantidad conocida, medidos con la balanza de precisión Mettler Toledo Excellence Plus, con precisión de 10 µg. Los microplásticos se mezclaron en agua destilada del grifo del laboratorio del ISCIII.

Para el primer experimento, se elaboraron 3 microplásticos distintos, elaborados a partir de un envase de alcohol de farmacia al 96º de polietileno, de color blanco translúcido. Se iteran los métodos de obtención y plásticos usados hasta llegar a microplásticos que nos sirvan para estudiar la extracción con ferrofluido.

- **PE grueso con escofina:** Se utiliza una escofina en el envase, consiguiendo microplásticos de aproximadamente 1 mm – 2 mm, un tamaño demasiado grande para analizar de manera efectiva.
- **PE con papel de lija:** Utilizando el mismo bote blanco translúcido obtuvimos microplásticos más pequeños, pero el material abrasivo contamina la muestra
- **PE con lima:** Con una lima, el proceso fue mucho más duradero, pero conseguimos microplásticos con un tamaño alrededor de 0,5 mm. Estos microplásticos fueron los utilizados en el primer experimento.

Una vez preparados los microplásticos de PE con lima, se elaboraron dos mezclas con concentraciones de microplásticos distintas, con el fin de ver cómo afecta la cantidad de plástico inicial al porcentaje de plástico extraído.

- **PE1:** con 1g/L de Polietileno, mezclando 0,3g de PE y 300ml de agua
- **PE2:** con 2g/L de Polietileno, mezclando 0,6g de PE y 300ml de agua

Desafortunadamente, los microplásticos obtenidos de PE con lima no tenían el tamaño necesario para quedarse suspendidos en el agua, y a los pocos minutos flotaban a la superficie. Esto causó que los resultados de los experimentos fuesen poco precisos. Además, como se explica más adelante, estos plásticos, al ser translúcidos presentaron dificultades al medir la absorbancia, por lo que se repitió este procedimiento mejorando las variables.

Para el segundo experimento se buscó mejorar dos aspectos, el tamaño de los microplásticos y la medida de la absorbancia. Para ello, se compró una lima de grano menor, que proporcionaba menor cantidad de plásticos con el mismo tiempo de lijado, pero se obtuvieron microplásticos tamaño menor. Además, se usó PE de color negro de un bote de polvo de bebida energética, que tiene una absorbancia mayor, facilitando la medida de extracción. Después de conseguir medir la absorbancia de manera exitosa de estos microplásticos en agua se elaboraron muestras con microplásticos de polipropileno negro (PPn), para comparar las diferencias de extracción de ambos plásticos. Se midieron los microplásticos con la balanza de precisión, y se mezclaron en un matraz Erlenmeyer. Se eligieron estos dos plásticos al ser los más abundantes en estudios previos [10], [17].

- **PEn1:** 1 g/L de Polietileno negro, con 0,1 g de PE negro y 100 ml de agua destilada.
- **PEn2:** 2 g/L de Polietileno negro, con 0,2 g de PE negro y 100 ml de agua destilada.
- **PPn1:** 1 g/L de Polipropileno, con 0,1 g de PE negro y 100 ml de agua destilada.
- **PPn2:** 2 g/L de Polipropileno, con 0,2 g de PE negro y 100 ml de agua destilada.

Para comprobar el tamaño aproximado de los microplásticos del segundo experimento, se pasaron las mezclas por distintos filtros. Por el filtro de 40 micras a simple vista no pasan microplásticos, y por el filtro de 70 micras ya se pueden ver algunos, por lo que el tamaño de los microplásticos más pequeños se encuentra entre 40 y 70 micras. Además, se pudo ver que el agua filtrada era transparente, por lo que el PE negro no suelta pigmentos al agua, ni hay nanoplasticos en la disolución, ya que ningún plástico atraviesa el filtro.

Para elaborar la curva patrón, y verificar la ley de Beer-Lambert, se prepararon dos disoluciones en serie, una para el PEn y otra para el PPn. A estas disoluciones no se les aplicó la extracción de microplásticos. De esta manera, se consiguieron un total de 5 disoluciones, cada una con la mitad de la concentración que la anterior, como vemos en la figura 3.

- **Primera disolución (4 g/L):** Se midieron 0,1g de microplásticos en un matraz Erlenmeyer con la balanza de precisión. A continuación, se añadieron 25 ml de agua destilada, medidas con una probeta graduada.
- **Disoluciones seriadas (2 g/L - 1 g/L - 0,5 g/L - 0,25 g/L):** Para cada concentración se tomaron 10 ml de la disolución anterior, usando la probeta graduada, que se depositaron en un matraz Erlenmeyer

distinto. Después, se midieron 10 ml más de agua destilada con la misma probeta, cogiendo todos los plásticos dejados atrás por la disolución anterior.



Figura 3. Disoluciones seriadas de PPN comparadas con agua destilada

3.2. Elaboración de los ferrofluidos

Para elaborar los ferrofluidos se compró 1 kg de magnetita sintética en polvo de Inoxia Ltd y se mezcló con distintos tipos de aceite en proporción variable. Es la opción más fácil y barata, y sirve para cumplir los objetivos de este proyecto. No necesitamos un ferrofluido de más profesional, ya que no buscamos que sea un ferrofluido estéticamente agradable, queremos que pueda extraer microplásticos. Esta magnetita en polvo tiene un tamaño de partícula predominante de 200 nm, el más pequeño que pudimos encontrar y una densidad sólida de 4,6 g/ml. En su página web, se recomienda usar este producto para elaborar ferrofluido. Se decidió utilizar aceite de oliva y girasol, pese a que comúnmente se use el aceite de motor, ya que así arriesgamos utilizar aceites nocivos para la salud [29].

En total se elaboraron 4 ferrofluidos distintos. Se pesaron el aceite y la magnetita correspondientes con la balanza de precisión, y se mezclaron los ferrofluidos en pequeños contenedores de cristal, como podemos ver en las figuras 4 y 5.

- **F1:** aceite de oliva y magnetita en proporción 1:1 (9 g de aceite y 9 g de magnetita)
- **F2:** aceite de oliva y magnetita en proporción 2:1 (12 g de aceite y 6 g de magnetita)
- **F3:** aceite de girasol y magnetita en proporción 1:1 (9 g de aceite y 9 g de magnetita)
- **F4:** aceite de girasol y magnetita en proporción 2:1 (12 g de aceite y 6 g de magnetita)



Figura 4. F1 bajo efecto de imán



Figura 5. Elaboración de F1

3.3. Extracción de microplásticos

Para realizar la extracción del polietileno negro (PE_n) y el polipropileno negro (PP_n), se utilizaron un total de 30 recipientes de vidrio de 30 ml cada uno. Se llenaron los recipientes con las 20ml de las mezclas preparadas previamente, 5 con cada tipo de plástico (PE1, PE2, PE_n1, PE_n2, PP_n1, PP_n2). Para cada mezcla, se dejó un recipiente sin aplicar ferrofluido (muestra control), marcado F0, para medir la absorbancia del PE con una cantidad conocida, lo que permitió calcular la cantidad de microplásticos en los botes después de aplicar el método de extracción.

Los otros 4 botes de cada mezcla fueron marcados F1, F2, F3 y F4, y se les añadió 0,2 g de ese ferrofluido, medidos con la balanza de precisión. Se cerraron los botes, se agitaron, y se dejaron reposar 1 minuto. Después, para cada mezcla se depositó un imán de unos 2 cm de neodimio en una pequeña bolsa zip de plástico, y se introdujo la bolsa en el primer bote. El ferrofluido que ha atrapado los microplásticos es atraído por el campo magnético del imán, y así conseguimos extraerlo al retirar el imán. Después se quita el imán y se pone en una nueva bolsa. Este proceso, que podemos observar en la figura 6, se repite dos veces para cada una de las 24 muestras, asegurando extraer todo el ferrofluido con microplásticos.

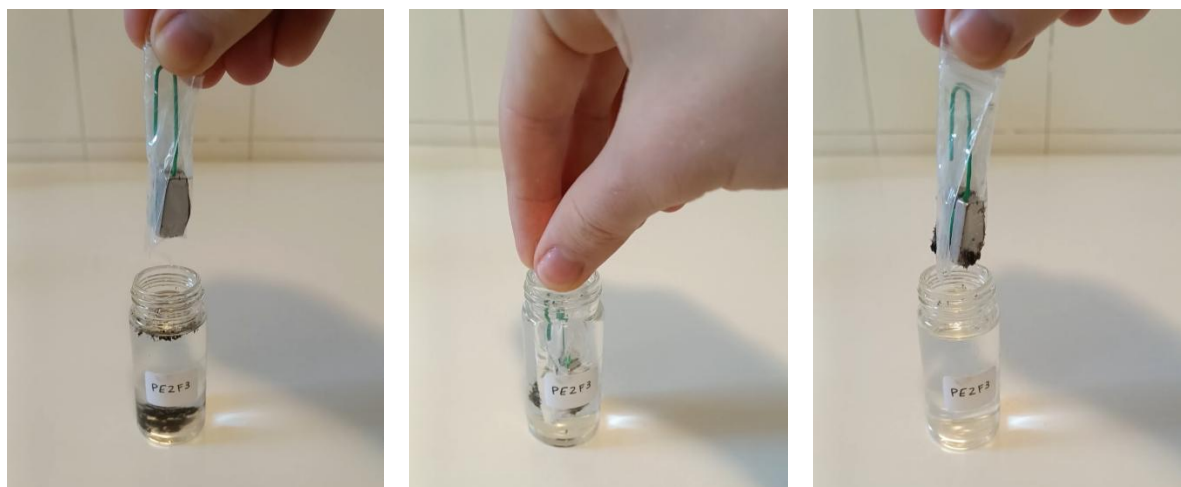


Figura 6. Extracción de microplásticos por pasos

3.4. Análisis de concentración con espectrofotómetro

Para poder analizar la extracción de microplásticos, se decidió añadir microplásticos adicionales, ya que el agua de grifo y embotellada cuentan con microplásticos, pero en cantidades mucho más bajas, por lo cual son más difíciles de medir con los métodos disponibles. Se usaron plásticos negros tras comprobar que los espectrofotómetros no eran sensibles al cambio de absorbancia del PE blanco translúcido. Se utilizó el espectrofotómetro NanoDrop™ One, con el que conseguimos los datos utilizados. Al añadir nuestros propios microplásticos al agua, aseguramos los siguientes parámetros.

- Muestras con concentración conocida, ya que, sin saber la concentración de al menos una muestra, es imposible establecer la relación entre absorbancia y la concentración para poder llevar a cabo todos los cálculos necesarios.
- Un solo tipo de plástico por disolución, para que el coeficiente de absorbancia sea constante. Algunos tipos de microplásticos podrían extraerse más fácil que otros, causando errores en la medición del peso del plástico y extracción.
- Cantidades analizables, el espectrofotómetro necesita que la muestra absorba suficiente luz, para que las mediciones de absorbancia no sean muy afectadas por el error del espectrofotómetro, y se pueda ver visualmente la diferencia.
- Microplásticos teñidos, ya que muchos microplásticos son transparentes, y no absorben casi el haz de luz del espectrofotómetro. Al usar microplásticos negros, por ejemplo, podemos utilizar la absorbancia del pigmento para calcular la concentración de microplásticos en cada muestra.

En total se tomaron más de 100 mediciones, incluyendo al menos 3 réplicas de análisis de cada muestra, y mediciones de agua destilada para confirmar el correcto funcionamiento del espectrofotómetro. Para tomar cada medición, como en la figura 7, se levantó el brazo del espectrofotómetro, y con una micropipeta manual se depositó una gota de 2 μ L de la muestra. Después se cerró el brazo, y el espectrofotómetro devolvió los datos correspondientes.

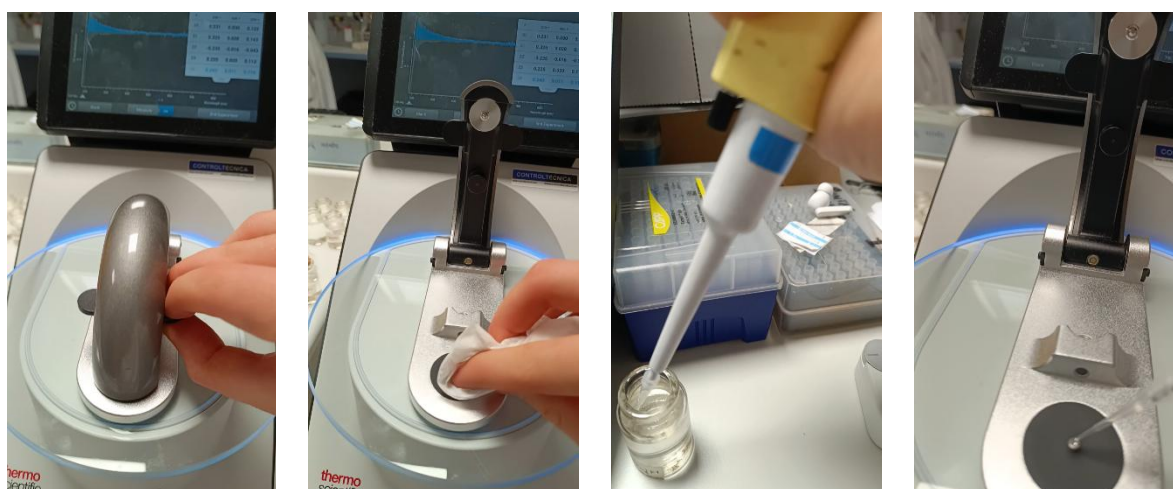


Figura 7. Pasos del análisis con espectrofotómetro

3.5. Elaboración del Biopolímero

Como se explica en el marco teórico, una de las maneras de reducir la contaminación plástica y por tanto la cantidad de microplásticos en el agua, es reducir el uso de plástico, y reemplazarlo con alternativas. Una de ellas es el uso de biopolímeros.

En este experimento se forma un biopolímero utilizando gelatina deshidratada en lámina, de la marca Hacendado (materia prima), y glicerina pura (plastificante). No se analiza la extracción con ferrofluido de este polímero ya que es biodegradable y no es disruptor endocrino, por lo que no presenta un problema para la salud. Además, el bioplástico está formado por gelatina comestible, y glicerina que si es de grado alimenticio no es nociva para la salud.

Se preparan 10mL de una disolución de glicerina pura y agua destilada en concentración 1:20 (0,5 mL de glicerina + 9,5 mL de agua). En un recipiente de cristal, se hidratan 4 gr de láminas de gelatina con 30mL de agua, durante 10 minutos.

A continuación, se calentó la disolución de glicerina al baño maría, y se añadió la gelatina hidratada a la disolución hasta su completa disolución, a 100 °C durante 35 segundos, sin dejar de remover. Se retiró la mezcla del fuego y se añadieron 10 mL de agua para garantizar la disolución completa.

Se realizó un segundo calentamiento al baño maría a 100 °C durante 45 segundos, removiendo continuamente. Se retiró del fuego y se vertió la solución obtenida en moldes de silicona y tapas de botes de cristal. Una semana más tarde, se pudieron extraer de sus respectivos moldes, y resultaron los biopolímeros de la figura 8 [28], [30].

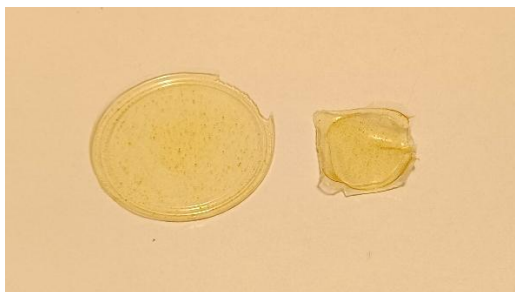


Figura 8. Biopolímeros de gelatina y cúrcuma

Resultaron polímeros prácticamente indistinguibles de un plástico normal, flexibles, pero resistentes. También se comprobó que absorbían agua, pero no eran solubles, y al secarse recuperaban su forma y propiedades originales.

4. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados, se recopilaron todos los datos obtenidos con el espectrofotómetro. Para cada disolución, se calculó la media de los valores, excluyendo valores extremos para aumentar la precisión de las mediciones del espectrofotómetro. En algunos casos, se observaron absorbancias negativas, lo cual indica que la absorbancia está muy cercana a cero. En estos casos, se utilizó el valor de 0, ya que la cantidad de microplásticos es prácticamente nula. Primero se realizaron los cálculos de extracción con las disoluciones de polietileno negro (PE_n).

Para analizar la extracción de los microplásticos, primero se confirmó para nuestra muestra de PE_n la ley de Beer-Lambert. Esto es necesario, ya que los plásticos son polímeros largos que pueden cambiar la percepción de la luz

y, a altas concentraciones, la gráfica pasa de ser lineal a ser no lineal, perdiendo la proporcionalidad entre absorbancia y concentración. El espectrofotómetro realmente detecta el pigmento del plástico. Si se cumple la ley de Beer-Lambert, la absorbancia del pigmento y la concentración de todo el plástico son proporcionales. Se tomaron longitudes de onda entre 200 nm y 450 nm, cada 50 nm para tener variabilidad, con una medición adicional en 275 nm ya que había más variación de absorbancia en torno a esta zona de valores, como se puede observar en la figura 9. En valores más altos de 450 nm el espectrofotómetro empezaba a mostrar mayor error.



Figura 9. Gráfica con varias mediciones de absorbancia del NanoDrop™ One (Elaboración propia)

Con los datos obtenidos tras analizar la disolución en serie, concentración y absorbancia, se elaboró la Tabla del Anexo C. Se analizó la linealidad de estos dos parámetros para cada longitud de onda, y se obtuvo la gráfica de la figura 10.

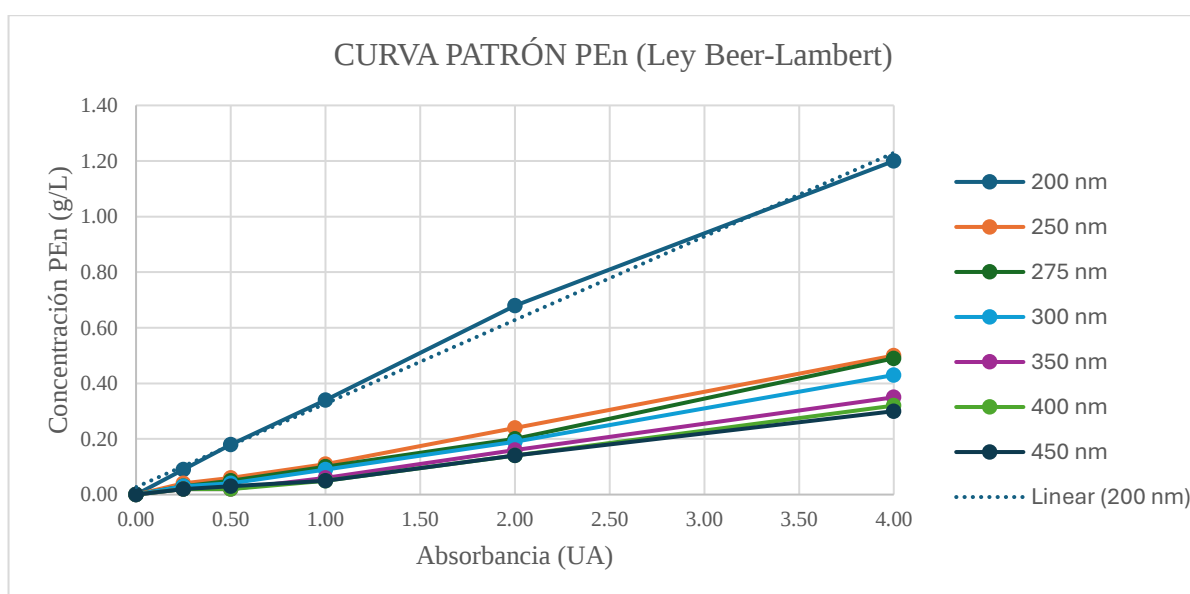


Figura 10. Gráfica de la curva Patrón PEn, concentración (g/L) respecto absorbancia (UA)

En la Figura 10 se puede observar que la relación para cada longitud de onda es lineal, confirmando nuestra hipótesis. Para la longitud de onda 200 nm, se puede ver su proximidad a una recta, con la línea discontinua.

A partir de esta observación, usamos los datos de la absorbancia (A) de las disoluciones con microplásticos extraídos con ferrofluido para calcular la concentración de la mezcla extraída, y el porcentaje de extracción de microplásticos.

Por ejemplo, los siguientes cálculos se utilizarían para analizar la extracción del PE1F1, concretamente utilizando los datos medidos con una longitud de onda de 400 nm.

Al comprobar la ley de Beer-Lambert, sabemos que $A = \varepsilon \cdot b \cdot C$ y $A \propto C$, por tanto:

Por ejemplo, para el caso del PEn1, extraído con el ferrofluido F1

$$C_{\text{PEn1F1}} = C_{\text{PEn1F0}} \cdot A_{\text{PEn1F1}} / A_{\text{PEn1F0}}$$

$$C_{\text{PEn1F1}} = 1\text{g/L} \cdot 0,01 / 0,16 = 0,0625\text{ g/L}$$

Para calcular el porcentaje de extracción, se aplicó:

$$E = 100 - (C_{\text{PEn1F1}} / C_{\text{PEn1F0}} \cdot 100) = 100 - (A_{\text{PEn1F1}} / A_{\text{PEn1F0}} \cdot 100)$$

$$E = 100 - (0,0625\text{ g/L} / 1\text{ g/L} \cdot 100) = 100 - (0,01 / 0,16 \cdot 100) = 93,75\%$$

Estos cálculos se automatizaron para todos los casos, obteniendo los porcentajes de extracción para las distintas concentraciones, longitudes de onda y ferrofluidos, como se ve en la tabla 1, con todas las longitudes de Onda en el Anexo B.

Tabla 1. Concentración y porcentajes de extracción del PEn en 450nm para las distintas variables

450 nm			Sin ferro	Oli 1:1	Oli 2:1	Gir 1:1	Gir 2:1
			F0	F1	F2	F3	F4
1 g/L PE	PEn1	A	0.15	0.01	0.03	0.03	0.02
		C (g/L)	1.00	0.07	0.20	0.20	0.13
		E (%)	x	93.33	80.00	80.00	86.67
2 g/L PE	PEn2	A	0.70	0.02	0.02	0.00	0.00
		C (g/L)	2.00	0.06	0.06	0.00	0.00
		E (%)	x	97.14	97.14	100.00	100.00

El porcentaje de extracción con los mismos parámetros debería dar el mismo resultado para todas las longitudes de onda. Sin embargo, muchas longitudes de onda presentan interferencias. Para encontrar la longitud de onda óptima se recogieron todos los datos de porcentajes de extracción para elaborar la gráfica de la figura 11, en la que se representa el porcentaje de extracción respecto a cada longitud de onda.

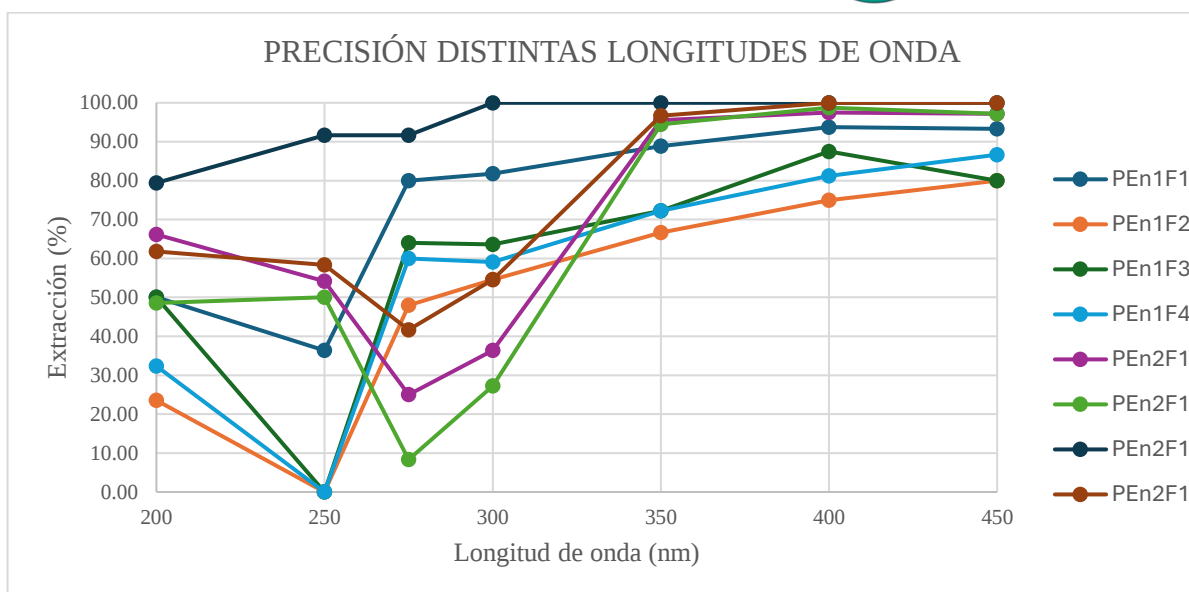


Figura 11. Precisión de la extracción de microplásticos para las distintas longitudes de onda

En la figura 11, la medida de extracción varía mucho por cada longitud de onda. Se esperaba encontrar rectas horizontales. En las longitudes de onda cercanas al ultravioleta, podemos ver que las mediciones tienen mucho ruido. En el rango de 350 nm a 450 nm las líneas se estabilizan más, y el porcentaje de extracción es más cercano a lo que esperaríamos, viendo las muestras a simple vista. Por ese motivo, se decidió utilizar las longitudes de onda de 400 nm y 450 nm para el resto de los cálculos.

A continuación, se elaboró la gráfica de la efectividad definitiva para cada extracción, la figura 12. Para ello, se toma el valor medio entre la extracción en 400 nm y 450 nm. Se obtuvieron 8 valores, para poder estudiar cómo afectan las distintas variables al porcentaje de extracción.

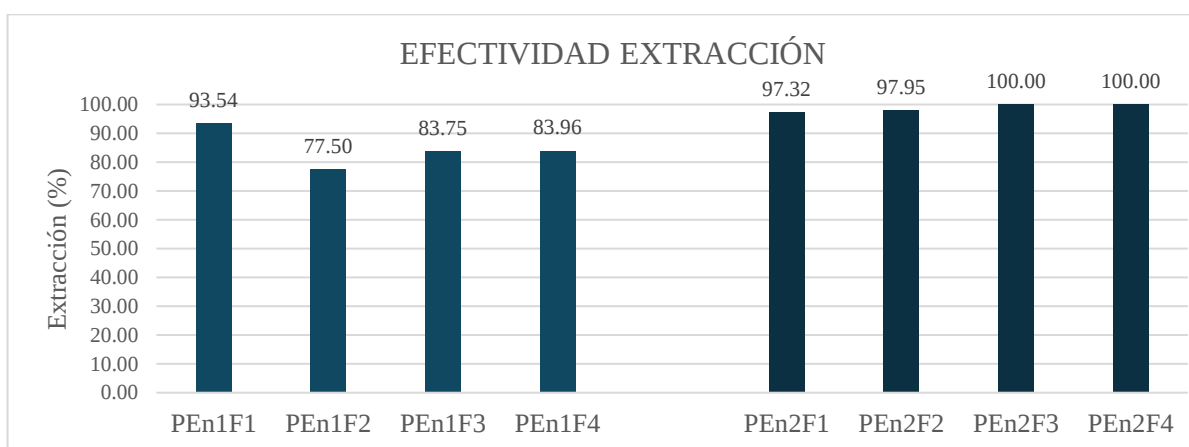


Figura 12. Extracción (%) para cada plástico, concentración y ferrofluido

Como se puede observar en la figura 12, pudieron obtener porcentajes de extracción prometedores. Las primeras cuatro extracciones, del PEn1n, tienen valores de extracción en torno al 85%, y las del PEn2 más del 97%.

Esto significa que, según el espectrofotómetro, los botes de PEn1 extraído tienen mayor concentración de microplásticos que el PEn2 extraído, pese que antes de la extracción fuese al revés, lo cual, a primera vista no

parece muy lógico. Sin embargo, se puede afirmar, a simple vista y con los datos obtenidos, que este método es muy eficaz. La diferencia entre las extracciones podría deberse a varios factores.

- **Diferencias del blanco del espectrofotómetro:** El espectrofotómetro mide la absorbancia del agua, a partir del cual da el dato de absorbancia del resto de muestras. Un pequeño error del espectrofotómetro puede causar la variación que observamos en la Gráfica 3.
- **Demasiado ferrofluido:** Puede ser que la cantidad de ferrofluidos usados fuese idónea para la extracción con 2g/L, y que, al usar una cantidad excesiva de ferrofluido, se dejaran atrás unas pocas micropartículas de magnetita.
- **Otras variables:** Hay variables que no se han medido con precisión, como cuanto tiempo exactamente agitar la muestra, y cuánto tiempo esperar hasta extraer los ferrofluidos. Esto puede afectar a la dispersión del ferrofluido por la muestra, causar una ligera separación entre la magnetita y el aceite, o cambiar la cantidad de microplásticos atrapados.

También se estudió la diferencia de extracción de los distintos ferrofluidos. Según los datos del PEn1, el F1 es el más eficiente, sin embargo, es el menos eficiente en el PEn2. No se obtuvieron suficientes datos como para poder afirmar que un ferrofluido extrae más microplásticos que el resto.

Se intentó realizar el mismo procedimiento con el PPn, pero presentó varios problemas. Primero se elaboró la tabla del anexo D y se elaboró curva patrón de la figura 14.

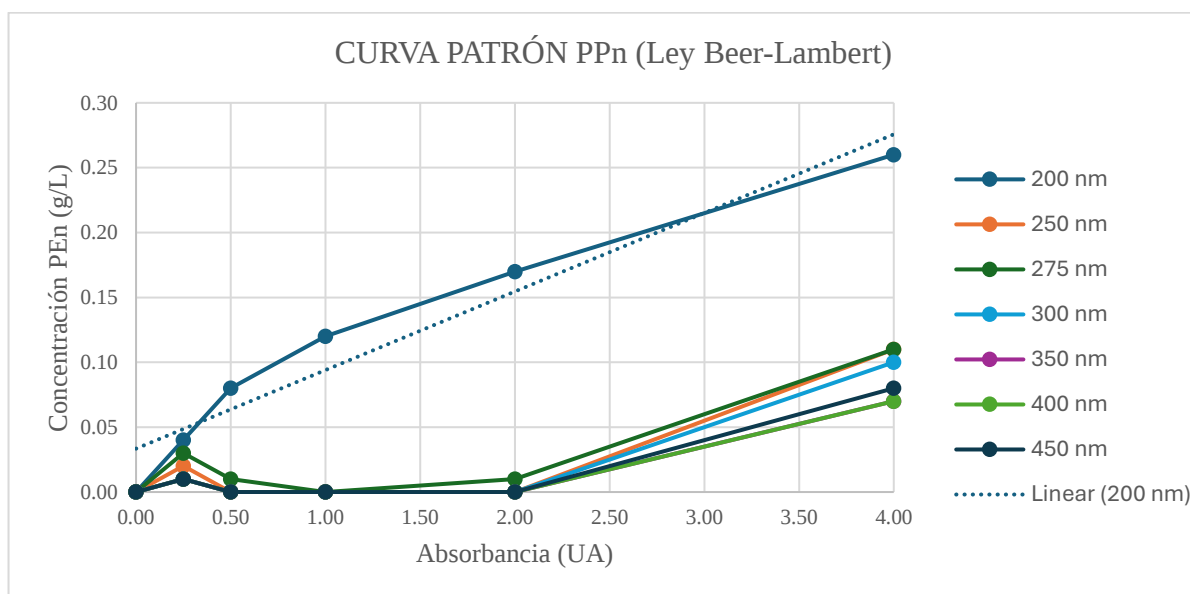


Figura 14. Curva Patrón PPn, concentración (g/L) respecto absorbancia (UA)

Como podemos observar, la única longitud de onda que podría aproximarse a una recta es la de 200 nm. El PPn parecía ser más hidrófobo que el PEn, y presentaba más problemas para mezclarse en el agua con el tamaño de partícula que pudimos obtener. Esto dificultó la medida de concentración, especialmente usando el espectrofotómetro Nanodrop™ One, que analizaba tan solo una gota de muestra, de 1-2 μ L. Se intentaron utilizar las medidas de absorbancia para hacer el mismo cálculo.

Tabla 2. Concentración y porcentajes de extracción del PPn para las distintas variables

200 nm			Sin ferro	Oli 1:1	Oli 2:1	Gir 1:1	Gir 2:1
			F0	F1	F2	F3	F4
1 g/L PP	PP1	A	0.12	-0.03	0.10	0.12	0.17
		C (g/L)	1.00	-0.25	0.83	1.00	1.42
		E (%)	x	125.00	16.67	0.00	-41.67
2 g/L PP	PP2	A	0.24	0.06	0.19	0.27	0.04
		C (g/L)	2.00	0.50	1.58	2.25	0.33
		E (%)	x	75.00	20.83	-12.50	83.33

Como podemos observar en la tabla 2, varias veces aparecen absorbancias más altas que las iniciales y absorbancias negativas, teniendo valores de extracción claramente erróneos, como valores negativos, o superiores al 100%. Los métodos usados en este proyecto no sirvieron para cuantificar el PPn en estas condiciones, pero sí que han resultado eficaces para analizar la extracción del PEn. Esto se debe a que el PPn cuenta con grupos metilo y es más hidrofóbico, por lo que gran parte de los microplásticos no se quedan suspendidos en el agua.

Durante el desarrollo del proyecto, hubo que enfrentarse a varias dificultades y limitaciones.

- Se intentó analizar el PE blanco translúcido utilizando el espectrofotómetro Bio-Rad SmartSpec™ Plus, pero resultó estar estropeado, mostrando datos erróneos, como absorbancia máxima al analizar una muestra de agua, y absorbancia negativa en el agua con microplásticos. Al no poder solucionarlo, se utilizó otro espectrofotómetro que tenían en el laboratorio del ISCIII, el NanoDrop™ One. Sin embargo, el PE blanco translúcido no tenía la absorbancia necesaria para ser estudiado, y el tamaño de partícula demasiado grande.
- Al principio del proyecto se elaboró un espectrofotómetro casero, utilizando una caja de cartón, una webcam y un CD para refractar los rayos, anexo E. Sin embargo, el software theremino, que podemos ver en el Anexo D resultó presentar muchos problemas, proporcionando datos prometedores, pero sin la precisión necesaria para analizar los datos de la extracción del ferrofluido, por lo que se optó por buscar un laboratorio equipado con un espectrofotómetro profesional, para llegar a una conclusión más fiable. Gracias a este intento, aprendimos mucho sobre el funcionamiento de los espectrofotómetros, lo que sería útil para llevar a cabo el resto del proyecto.

5. Conclusiones

Conseguimos confirmar nuestra hipótesis de partida. La aplicación de ferrofluidos permite eliminar de manera eficiente los microplásticos del agua. Se ha conseguido un porcentaje de extracción en torno al 90%, como buscábamos confirmar y hemos determinado que esta solución es sostenible, económica, segura y altamente prometedora frente al problema al que nos enfrentamos. Se ha desarrollado un proyecto que aumentará la conciencia sobre el problema de los microplásticos, que a largo plazo podrá ayudar a la salud de la población. Además, el proyecto cumple con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 que nos planteábamos al principio del proyecto.

ODS 3, Salud y bienestar: Este proyecto está alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 3, ya que los microplásticos tienen una variedad de efectos nocivos para nuestra salud, potenciados por los químicos y patógenos que pueden entrar en nuestro cuerpo al estar unidos a estos microplásticos. El impacto de los microplásticos en la salud solo aumentará exponencialmente con el aumento de la contaminación plástica, por lo que es esencial aplicar una solución a este problema lo antes posible.

ODS 6, Agua limpia y saneamiento: El objetivo principal de este proyecto es el ODS número 6, cuyo propósito es ofrecer saneamiento y agua limpia y segura a toda la población mundial. Con este proyecto, se espera contribuir a la calidad del agua potable que bebemos a diario, eliminando los microplásticos dañinos a nuestra salud. El método de extracción de microplásticos con ferrofluido se presenta como una alternativa de filtrar una amplia gama de partículas del agua, asegurando nuestra salud de manera económica, eficiente y segura.

ODS 13: Acción por el Clima: Aunque el método utilizado en este proyecto está principalmente orientado a la eliminación de microplásticos del agua potable, también resalta el impacto ambiental de los microplásticos, destacando la importancia del uso de materiales alternativos como biopolímeros. De esta manera, se alinea con las metas del ODS 13, abordando los problemas de la contaminación plástica en el medioambiente. Además, los microplásticos pueden degradarse en compuestos que contribuyen al efecto invernadero, acelerando el cambio climático. También pueden afectar negativamente a organismos fotosintéticos marinos, los cuales desempeñan un papel crucial en la captura de CO₂ y la producción de oxígeno.

ODS 14: Vida Submarina: La contaminación de microplásticos en el océano es un gran problema que mi proyecto destaca. Este proyecto está alineado con el ODS 14, ya que los microplásticos pueden ser ingeridos por distintos organismos, dañando las cadenas tróficas, reduciendo la cantidad y calidad de las capturas pesqueras, y afectando la biodiversidad marina. También podría afectar a especies marinas de gran valor para la industria farmacéutica. Si bien este proyecto está enfocado en la purificación del agua potable, en el futuro se podría investigar la viabilidad de aplicar esta tecnología en ecosistemas marinos, aunque esto representaría un gran desafío técnico.

Durante el proyecto se encontraron algunas limitaciones. El espectrofotómetro Nanodrop™ One no es ideal, ya que mide muestras de volumen muy bajo. Además, los microplásticos idealmente hubiesen tenido un tamaño mucho menor. Además, hay muchas variables que no se pudieron estudiar, y distintos materiales que se podrían haber probado. Sin embargo, se ha llegado muy lejos para las limitaciones de tiempo y presupuesto.[31], [32]

Este proyecto genera varias líneas futuras de investigación.

- **Reutilización del ferrofluido:** una de las líneas de investigación más importantes es encontrar la manera más eficiente de limpiar los ferrofluidos, ya que tras muchos usos se acaban saturando de microplásticos. Una vez que se hayan eliminado los microplásticos del ferrofluido, se podrá reutilizar para extraer más microplásticos, y este proceso se podría llevar a cabo de manera indefinida. De esta manera, se reducen los gastos y residuos de este método. Algunas de las alternativas posibles para llevar esto a cabo son el lavado con ultrasonido y la centrifugación [33]
- **Escalabilidad del método:** Investigar cómo adaptar la extracción de microplásticos con ferrofluidos para aplicaciones a gran escala en plantas de tratamiento de agua, y estudiar la viabilidad económica.
- **Análisis de más parámetros:** Analizar en detalle distintas concentraciones, incluyendo más cercanas a las reales en el agua potable, utilizando nanoplasticos que no se han podido conseguir para este proyecto, y otras variables como el tiempo de agitación y la inclusión de distintos materiales en los ferrofluidos



UNIÓN DE ASOCIACIONES
DE INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES Y GRADUADOS
EN LA INGENIERÍA DE LA
RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA

- **Estudios a largo plazo:** Sobre el cambio a la salud si se aplica este método de manera global, y los efectos medioambientales y residuales del método.

6. Bibliografía

- [1] «Un informe de WWf elaborado por», 2019, Accedido: 10 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: www.newcastle.edu.au/
- [2] «Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible». Accedido: 8 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [3] «Historia del plástico: origen y evolución | Naeco Packaging». Accedido: 7 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://naeco.com/es/actualidad/historia-del-plastico/>
- [4] «Kurtzgesagt Vídeo Plástico», [En línea]. Disponible en: <https://youtu.be/RS7IzU2VJIQ?si=7eM7ZbRO8I6d5ArC>
- [5] «5 cosas maravillosas que existen gracias al plástico - BBC News Mundo». Accedido: 7 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-44297330>
- [6] PlasticsEurope AISBL, «Plastics-Situación en 2022», *Plastics Europe*, p. 84, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://plasticseurope.org/>
- [7] «Los 7 tipos más comunes de plástico | PlasticOceans.org». Accedido: 8 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://plasticoceans.org/7-tipos-de-plastico-mas-comunes/>
- [8] «Tipos de plásticos: clasificación y reciclaje | DKV 360». Accedido: 8 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/reciclaje/tipos-de-plasticos-clasificacion-reciclaje>
- [9] B. J. Henry *et al.*, «A critical review of the application of polymer of low concern and regulatory criteria to fluoropolymers», *Integr Environ Assess Manag*, vol. 14, n.º 3, pp. 316-334, may 2018, doi: 10.1002/IEAM.4035.
- [10] «Analizan 280 muestras de agua embotellada y todas contienen plásticos tóxicos para nuestras células - H2O Tratamientos». Accedido: 8 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://h2otratamientos.com/agua-embotellada-plasticos-toxicos-celulas/>
- [11] N. Qian *et al.*, «Rapid single-particle chemical imaging of nanoplastics by SRS microscopy», *Proc Natl Acad Sci U S A*, vol. 121, n.º 3, 2024, doi: 10.1073/PNAS.2300582121.
- [12] W. A. Microplastics, «Microplastics in Water What Are Microplastics?», pp. 2016-2019, 2018.
- [13] «Onderzoek microplastics | SGS Search». Accedido: 11 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sgssearch.nl/diensten/bodemonderzoek/microplastics.html>
- [14] J. B. Fleury y V. A. Baulin, «Microplastics destabilize lipid membranes by mechanical stretching», *Proc Natl Acad Sci U S A*, vol. 118, n.º 31, p. e2104610118, ago. 2021, doi: 10.1073/PNAS.2104610118/SUPPL_FILE/PNAS.2104610118.SM03.AVI.
- [15] C. Beans, «Are microplastics spreading infectious disease?», *Proc Natl Acad Sci U S A*, vol. 120, n.º 31, p. e2311253120, ago. 2023, doi: 10.1073/PNAS.2311253120/ASSET/A154776E-0C6D-4579-A90F-E23330B7524F/ASSETS/IMAGES/LARGE/PNAS.2311253120UNFIG03.JPG.
- [16] S. Navarro-Espinoza, E. Silva-Campa, M. A. Acosta-Elías, y F. J. Grijalva-Noriega, «Micro(nano)plásticos en el medio ambiente: una descripción de los efectos potenciales a la salud humana», *EPISTEMUS*, vol. 18, n.º 35, ago. 2023, doi: 10.36790/EPISTEMUS.V18I35.311.
- [17] W. P. de Haan, A. Sanchez-Vidal, y M. Canals, «Floating microplastics and aggregate formation in the Western Mediterranean Sea», *Mar Pollut Bull*, vol. 140, pp. 523-535, mar. 2019, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.01.053.
- [18] L. C. Á. Gil, W. de J. S. Agudelo, y N. R. R. Reyes, «Evaluación teórica del efecto de la viscosidad sobre la disipación de potencia en hipertermia magnética aplicada a ferrofluidos

agua/Fe₃O₄», *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, pp. 1-12, sep. 2023, doi: 10.26507/PAPER.3322.

- [19] «Los Ferrofluidos y sus aplicaciones industriales | ESingeniería». Accedido: 8 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://esingenieria.net/los-ferrofluidos-y-sus-aplicaciones-industriales/>
- [20] B. K. Pramanik, S. K. Pramanik, y S. Monira, «Understanding the fragmentation of microplastics into nano-plastics and removal of nano/microplastics from wastewater using membrane, air flotation and nano-ferrofluid processes», *Chemosphere*, vol. 282, p. 131053, nov. 2021, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.131053.
- [21] K. Henriques, «Development of an automated ferrofluid-based prototype for microplastic extraction», [En línea]. Disponible en: <https://m.youtube.com/watch?v=H29xxT1Q6nE&t=539s>
- [22] «Ley de Beer-Lambert - Wikipedia, la enciclopedia libre». Accedido: 18 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Beer-Lambert
- [23] N. Zulfiqar, M. Shariatipour, y F. Inam, «Sequestration of chromium(vi) and nickel(ii) heavy metals from unhygienic water via sustainable and innovative magnetic nanotechnology», *Nanoscale Adv*, vol. 6, n.º 1, pp. 287-301, nov. 2023, doi: 10.1039/D3NA00923H.
- [24] «Oxidos metálicos en suelos: los efectos de la hematita y la magnetita - African Pegmatite». Accedido: 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://mineralmilling.com/es/oxidos-metalicos-en-suelos-los-efectos-de-la-hematita-y-la-magnetita/>
- [25] Z. Yu, J. J. Wang, L. Y. Liu, Z. Li, y E. Y. Zeng, «Drinking Boiled Tap Water Reduces Human Intake of Nanoplastics and Microplastics», *Environ Sci Technol Lett*, vol. 11, n.º 3, pp. 273-279, mar. 2024, doi: 10.1021/ACS.ESTLETT.4C00081/SUPPL_FILE/EZ4C00081_SI_001.PDF.
- [26] «Alternativas al plástico [TOP 6 materiales eco] - Servei Estació». Accedido: 14 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://serveiestacio.com/blog/los-materiales-que-mejor-funcionan-como-alternativas-al-plastico/?srsltid=AfmBOorH0ZJ0Oaqvtc5ILTd_DHmEXPWiomkD2dXVMrYQwzzWGtmVgyKJ
- [27] «¿Qué son los bioplásticos?» Accedido: 14 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.aimplas.es/blog/que-se-entiende-por-bioplasticos/>
- [28] «Bioplastic Cook Book - Issuu». Accedido: 14 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://issuu.com/nat_arc/docs/bioplastic_cook_book_3/s/159731
- [29] G. Thompson, «Ferrofluid TKOR», [En línea]. Disponible en: https://m.youtube.com/watch?si=kBbmscd_R4WdKPc_&v=6L8yUY-doNc&feature=youtu.be
- [30] «Recipe for Gelatine Bioplastics - Living Station». Accedido: 14 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://livingstations.wdka.nl/blog/2023/01/06/recipe-for-gelatine-bioplastics/>
- [31] «Seis razones para culpar a la contaminación por plásticos del cambio climático». Accedido: 17 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://blogs.worldbank.org/es/voices/seis-razones-para-culpar-la-contaminacion-por-plasticos-del-cambio-climatico>
- [32] «La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible». Accedido: 17 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- [33] «Method for recycling ferrofluid constituents used in a materials separation process», may 2000.



7. Anexos

Anexo A. Gastos del proyecto

Compra	Imagen	Precio
Magnetita	 Fuente: https://inoxiasys.blob.core.windows.net/catalogueimages/magnetite-powder.jpg	29,3 €
Aduana correos magnetita	 Fuente: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSXxZSu4FkXAZ07YNuOzfNOHZyQSsHB1TDbJA&s	36,41 €
Lima de grano fino	 Fuente: https://cdn11.bigcommerce.com/s-12rm6bn1yd/images/stencil/1280x1280/products/12921/3664/52_UR_UFPM8_40763.1596020206.PNG?c=2	11,40 €
Botes y utensilios varios	 Fuente: https://ae01.alicdn.com/kf/H371f6fc60ad842c4ab8365681d56c930W/10-piezas-de-botellas-de-vidrio-de-5ml-6ml-7ml-10ml-14ml-18ml-20ml-25ml-30ml.jpg	22,53 €
		TOTAL: 99,64 €

Anexo B. Tabla Concentración y porcentajes de extracción del PEn para las distintas variables

250 nm			Sin ferro	Oli 1:1	Oli 2:1	Gir 1:1	Gir 2:1
			F0	F1	F2	F3	F4
1 g/L PE	PEn1	A	0.11	0.07	0.16	0.12	0.12
		C (g/L)	1.00	0.64	1.45	1.09	1.09
		E (%)	x	36.36	-45.45	-9.09	-9.09
2 g/L PE	PEn2	A	0.24	0.11	0.12	0.02	0.10
		C (g/L)	2.00	0.92	1.00	0.17	0.83
		E (%)	x	54.17	50.00	91.67	58.33

275 nm			Sin ferro	Oli 1:1	Oli 2:1	Gir 1:1	Gir 2:1
			F0	F1	F2	F3	F4
1 g/L PE	PEn1	A	0.25	0.05	0.13	0.09	0.10
		C (g/L)	1.00	0.20	0.52	0.36	0.40
		E (%)	x	80.00	48.00	64.00	60.00
2 g/L PE	PEn2	A	0.12	0.09	0.11	0.01	0.07
		C (g/L)	2.00	1.50	1.83	0.17	1.17
		E (%)	x	25.00	8.33	91.67	41.67

300 nm			Sin ferro	Oli 1:1	Oli 2:1	Gir 1:1	Gir 2:1
			F0	F1	F2	F3	F4
1 g/L PE	PEn1	A	0.22	0.04	0.10	0.08	0.09
		C (g/L)	1.00	0.18	0.45	0.36	0.41
		E (%)	x	81.82	54.55	63.64	59.09
2 g/L PE	PEn2	A	0.11	0.07	0.08	0.00	0.05
		C (g/L)	2.00	1.27	1.45	0.00	0.91
		E (%)	x	36.36	27.27	100.00	54.55

350 nm			Sin ferro	Oli 1:1	Oli 2:1	Gir 1:1	Gir 2:1
			F0	F1	F2	F3	F4
1 g/L PE	PEn1	A	0.18	0.02	0.06	0.05	0.05
		C (g/L)	1.00	0.11	0.33	0.28	0.28
		E (%)	x	88.89	66.67	72.22	72.22
2 g/L PE	PEn2	A	0.90	0.04	0.05	0.00	0.03
		C (g/L)	2.00	0.09	0.11	0.00	0.07
		E (%)	x	95.56	94.44	100.00	96.67



400 nm			Sin ferro	Oli 1:1	Oli 2:1	Gir 1:1	Gir 2:1
			F0	F1	F2	F3	F4
1 g/L PE	PEn1	A	0.16	0.01	0.04	0.02	0.03
		C (g/L)	1.00	0.06	0.25	0.13	0.19
		E (%)	x	93.75	75.00	87.50	81.25
2 g/L PE	PEn2	A	0.80	0.02	0.01	0.00	0.00
		C (g/L)	2.00	0.05	0.03	0.00	0.00
		E (%)	x	97.50	98.75	100.00	100.00

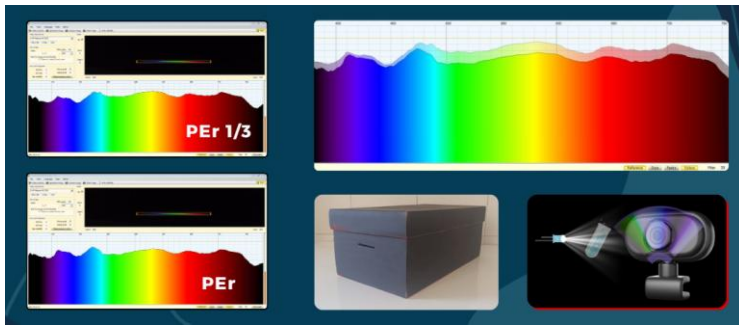
450 nm			Sin ferro	Oli 1:1	Oli 2:1	Gir 1:1	Gir 2:1
			F0	F1	F2	F3	F4
1 g/L PE	PEn1	A	0.15	0.01	0.03	0.03	0.02
		C (g/L)	1.00	0.07	0.20	0.20	0.13
		E (%)	x	93.33	80.00	80.00	86.67
2 g/L PE	PEn2	A	0.70	0.02	0.02	0.00	0.00
		C (g/L)	2.00	0.06	0.06	0.00	0.00
		E (%)	x	97.14	97.14	100.00	100.00

Anexo C. Datos de absorbancia para curva patrón PPn

		Longitud de onda (nm)						
Plástico	C (g/L)	200 nm	250 nm	275 nm	300 nm	350 nm	400 nm	450 nm
PPn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PPn	0.25	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
PPn	0.50	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
PPn	1.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PPn	2.00	0.17	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
PPn	4.00	0.26	0.11	0.11	0.10	0.07	0.07	0.08

Anexo D. Datos de absorbancia para curva patrón PEn

		Longitud de onda (nm)						
Plástico	C (g/L)	200 nm	250 nm	275 nm	300 nm	350 nm	400 nm	450 nm
PEn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PEn	0.25	0.09	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
PEn	0.50	0.18	0.06	0.05	0.04	0.02	0.02	0.03
PEn	1.00	0.34	0.11	0.10	0.09	0.06	0.05	0.05
PEn	2.00	0.68	0.24	0.20	0.19	0.16	0.14	0.14
PEn	4.00	1.20	0.50	0.49	0.43	0.35	0.32	0.30



Anexo D. Gráficas con Theremino



Anexo E. Espectrofotómetro casero