



2ª Olimpiada Estudiantil de Proyectos Interdisciplinarios de Ingeniería – II UNAM (2024)

“Desarrollo de dispositivo microfluídico para análisis in situ de microplásticos en muestras de agua”

Propuesta Final

Nombre del equipo:
AquaPlastics

Integrantes:
Adriana Itzel Hernández Contreras
Rosa Cristina Meza Ramírez
Carlos Yael Hernández Castro
Citlali Quintero Cárdenas
Roberto Kael Hernández Marín
Sebastián Arturo Rodríguez Martínez

Asesor:
Dr. Oscar Pilloni Choreño

Entidades Académicas
Instituto de Ingeniería, UNAM.
Facultad de Contaduría y Administración, UNAM

Mayo de 2025, Ciudad Universitaria, CDMX.



Datos de los participantes.

Nombre	Entidad Académica	Categoría	Nivel Académico	Correo electrónico institucional	Correo electrónico personal	Número celular
Adriana Itzel Hernández Contreras	IINGEN Sistemas Mecánicos, Energéticos y de Transporte, Electromecánica	Posdoctorante	Doctorado (Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM)	AHernandezCo@iingen.unam.mx	adri.ihc@gmail.com	5518298737
Rosa Cristina Meza Ramírez	IINGEN Ingeniería Ambiental, Hidráulica y Ambiental	Estudiante	Maestría (Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM)	RMezaRa@iingen.unam.mx	rosacmr.rm@gmail.com	5637307232
Carlos Yael Hernández Castro	IINGEN Sistemas Mecánicos, Energéticos y de Transporte, Electromecánica	Estudiante	Licenciatura (Ingeniería en Telecomunicaciones en Sistemas y Electrónica, UNAM)	CHernandezC@iingen.unam.mx	hernandezcarlosyael0@gmail.com	5577574781
Citlali Quintero Cárdenas	IINGEN, Sistemas Mecánicos, Energéticos y de Transporte, Electromecánica	Estudiante	Licenciatura (Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, UNAM)	CQuinteroC@iingen.unam.mx	citlali.quintero@fi.unam.edu	5564686142
Roberto Kael Hernández Marín	IINGEN, Sistemas Mecánicos, Energéticos y de Transporte, Electromecánica	Estudiante	Licenciatura (Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería UNAM)	kaelmarin@comunidad.unam.mx	kaelhdezmgldpo@gmail.com	5552854176
Sebastián Arturo Rodríguez Martínez	Facultad de Contaduría y Administración	Estudiante	Licenciatura (Facultad de Contaduría y Administración, UNAM)	-	sebastianrodmar1145@gmail.com	5574133784



Contenido

- Datos de los participantes 2
- Resumen ejecutivo 4
- Logo y slogan..... 5
- Pitch del proyecto 5
- Descripción del proyecto 6
 - Problema a resolver..... 6
 - Antecedentes 8
 - Fundamentación como proyecto de base tecnológica 10
 - Objetivos 10
 - Objetivo general..... 10
 - Objetivos específicos 11
 - Mercado objetivo 11
 - Legislación mexicana vigente y microplásticos..... 12
- Reseña breve del prototipo a desarrollar 12
- Metodología 13
 - Diseño del dispositivo 13
 - Simulación 14
 - Fabricación y ensamble del dispositivo 15
 - Fabricación del microcanal 15
 - Fabricación de microelectrodos: 17
 - Dispositivo final..... 18
- Trabajo técnico a futuro 19
 - Fase experimental para la medición y cuantificación de microplásticos 19
- Resultados obtenidos 20
- Conclusiones 20
- Plan de negocios 21
 - Descripción general de la empresa y su organización 21
 - Análisis del mercado y la competencia..... 22
 - Estimación del costo del dispositivo 22
 - Desglose de productos y servicios 24
 - Estrategia de marketing y ventas 24
 - Costos aproximados de la estrategia de marketing y ventas. 26
 - Desglose de Costos Aproximados..... 26
 - Estrategia de transferencia tecnológica..... 28
- Referencias..... 30



Resumen ejecutivo

Problema:

Según un estudio en Estados Unidos, anualmente una persona puede llegar a consumir hasta 200,000 partículas de microplásticos que provienen del agua, comida y el aire. Estas pequeñas partículas (< 5mm) se generan principalmente por la degradación físico-química de residuos plásticos que terminan en fuentes de agua como playas y ríos donde terminan siendo ingeridos por animales y seres humanos.

Una vez liberados en el medio ambiente, los microplásticos por su capacidad de absorber pueden actuar como vectores de contaminantes químicos (como ftalatos, metales pesados o hidrocarburos aromáticos policíclicos) además de servir como superficies para la colonización de microorganismos patógenos. La interacción de estos microplásticos y sus cargas contaminantes con organismos vivos ha sido asociada en estudios experimentales con efectos multisistémicos, tales como toxicidad hepática, alteraciones endocrinas, efectos teratogénicos, inmunosupresión y daño cardiopulmonar. Sin embargo, en humanos, la evidencia directa aún es limitada y requiere mayor investigación.

Actualmente, desde el punto de vista analítico, la identificación y cuantificación de microplásticos en muestras de agua requiere técnicas instrumentales, mediante estudios como el análisis Raman o la Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier. Sin embargo, estos métodos requieren un equipo especializado de alto costo que, además, no puede transportarse fácilmente para su uso in situ, lo que incrementa significativamente el tiempo de análisis. Actualmente en México, no existen leyes que regulen los niveles de microplásticos en agua potable y tampoco existen desarrollos tecnológicos comerciales para su medición.

A nivel internacional, aunque organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Unión Europea han reconocido a los microplásticos como contaminantes emergentes, **todavía no se han establecido límites permisibles globalmente estandarizados**. Esto evidencia la urgencia de desarrollar métodos de detección accesibles y políticas de gestión ambiental enfocadas en la prevención, monitoreo y control de estos contaminantes.

Solución:

AquaPlastics es un proyecto con base tecnológica que ha desarrollado un dispositivo portátil y de bajo costo que combina la microfluídica y la fuerza de dielectroforesis para clasificar microplásticos dependiendo de su tipo y tamaño. Este dispositivo permite clasificar partículas de plásticos como el Nylon (poliamida), el Poliestireno (PS), el Polietileno (PE) y el Polipropileno (PP) con tamaños que van desde 1 hasta 20 micras.

Lo cual es relevante considerando que las partículas en ese rango son difíciles de detectar por métodos tradicionales. La separación se logra debido a las diferencias en las propiedades dieléctricas y el comportamiento hidrodinámico de los polímeros bajo campos eléctricos no uniformes.

El tamaño compacto del dispositivo (~5cm) permite su uso en zonas remotas con resultados que pueden comprobarse en minutos con ayuda de un microscopio. Se tiene estimado que cada dispositivo tenga un costo por unidad de alrededor de 2400 pesos mexicanos lo que lo hace hasta un 83% más barato que los equipos más económicos para estos análisis actualmente del mercado.

Mercado:

El mercado objetivo para la comercialización de este dispositivo AquaPlastics incluye como clientes inmediatos a consultoras ambientales, laboratorios de control de calidad y análisis de agua y empresas embotelladoras de bebidas. Sin embargo, su alcance puede expandirse para abarcar gobiernos locales y federales.



El estudio de mercado revela que los equipos comerciales disponibles actualmente, como FTIR o Raman con acoplamiento a microscopía, tienen precios superiores a \$35,000 USD. Nuestro principal competidor en rango de precio es un dispositivo basado en una cámara de alta resolución, con un costo de \$649 USD, que carece de capacidad para clasificar los microplásticos.

Modelo de negocios:

Para la estrategia de Marketing se busca un posicionamiento del producto destacando la base científica e innovación tecnológica, con énfasis en que es un producto mexicano. Se busca también la publicación de estudios y artículos científicos, infografías y videos informativos para aumentar la confianza del cliente. La difusión se llevará a cabo mediante sitio web, redes sociales (LinkedIn, Facebook, X, etc.) y Google Ads.

Para la estrategia de ventas, se aplicará el modelo Business to Business (B2B), enfocándonos en proporcionar nuestro producto a las empresas del mercado propuesto. Para el Lead Generation, se ofrecerán webinars y demos en línea para educar y generar leads calificados. Se dará seguimiento a las empresas que compren el producto midiendo y analizando indicadores clave como la satisfacción del cliente mediante encuestas de satisfacción y análisis postventa para una mejora continua.

Conclusiones:

Nuestro clasificador de microplásticos representa una solución tecnológica innovadora y necesaria para abordar uno de los problemas ambientales y de salud poco estudiados en México. Con base tecnológica avanzada, facilidad de uso y amplia aplicabilidad, con este dispositivo se busca proporcionar una herramienta clave para promover la gestión sostenible del agua, la reducción en el uso de microplásticos y la toma de decisiones informadas en el ámbito ambiental y sanitario.

Logo y slogan



“Agua limpia, futuro saludable”

Pitch del proyecto

Has consumido 200,000 partículas de microplásticos en promedio al año ¿Lo sabías? Estas partículas microscópicas que tienen el tamaño de una bacteria han invadido nuestras fuentes de agua: desde los océanos hasta el agua embotellada que bebemos a diario. Si has comido en un restaurante o incluso comida casera, has ingerido estas partículas. Estos microplásticos te pueden causar infecciones gastrointestinales, dañar el hígado o el sistema inmune, y esto es sólo lo que se conoce hasta ahora.



Para saber si hay microplásticos en el agua, se requieren máquinas muy costosas que cuestan ¡Más de un millón de pesos! Aparte, como son enormes y no se pueden mover, hay que llevar las muestras al laboratorio y esperar semanas para los resultados.

¡Es por esto por lo que surgió AquaPlastics! Somos un grupo formado por estudiantes e investigadores de la UNAM, que han desarrollado un dispositivo innovador de alta tecnología que detecta microplásticos como Nylon, poliestireno, polipropileno y polietileno en muestras de agua de manera casi inmediata y a bajo costo.

Nuestro dispositivo utiliza microtecnología (microfluídica), dispositivos pequeñitos, para separar los microplásticos según su tipo y tamaño. La clave está en inyectar el agua en microcanales, es decir, canales tan delgados como un cabello humano y mediante campos eléctricos y un fenómeno llamado dielectroforesis, separar los microplásticos.

Esto no es solo un dispositivo; es una solución real para un problema invisible que nos afecta a todos. Si te preocupa el efecto en tu salud del agua que bebes y el futuro del medio ambiente, esta es tu oportunidad de hacer algo diferente. ¿Te gustaría probarlo?

Descripción del proyecto

El proyecto tiene como objetivo desarrollar un prototipo capaz de identificar y clasificar microplásticos presentes en muestras de agua. Para ello, se empleará tecnología microfluídica y fenómenos como la fuerza de dielectroforesis, que permitirá manipular partículas no cargadas de diversos tipos de plásticos mediante campos eléctricos no uniformes generados por corriente alterna. Este enfoque facilitará la separación de los microplásticos aprovechando las diferencias que existen entre sus propiedades electromagnéticas y las del medio que los circunda. A continuación, se presenta detalladamente la propuesta para el desarrollo y comercialización del dispositivo.

Problema a resolver

El uso comercial del plástico comenzó a inicios del siglo XX en Estados Unidos con la invención del celuloide, desarrollado como una alternativa a materiales como el marfil. En México, la comercialización de plásticos se popularizó en la década de 1980 con nuevos materiales como el Poliestireno (PS) y el Polipropileno (PP) desarrollados en Estados Unidos y Alemania, respectivamente. Estos materiales experimentaron un crecimiento exponencial en su uso debido a sus excepcionales propiedades químicas y físicas ideales para aplicaciones como: empaques de alimentos, empaques de productos varios, ropa, enseres domésticos y más. Sin embargo, el aumento en su consumo trajo un crecimiento acelerado en la generación de desechos debido a la corta vida útil de muchos productos. Actualmente, a nivel mundial, se generan 430 millones de toneladas de plásticos en un año y sólo en Ciudad Universitaria, en la Ciudad de México, se generan diariamente 15.5 toneladas de residuos, de la cual la mayor parte son plásticos.

El uso excesivo del plástico ha llevado a la contaminación y a la acumulación descontrolada de éste en ciudades, bosques, ríos, lagos y mares. Este problema surge principalmente por la ausencia de procesos eficientes de reciclaje y la falta de conciencia en la población sobre la importancia de reciclar este y otros materiales. El impacto ambiental del plástico no se limita a las grandes cantidades acumuladas en diversas regiones; su degradación genera microplásticos, los cuales representan un problema grave debido a su difícil manejo y los efectos perjudiciales que tienen en los ecosistemas y la salud.

Los microplásticos fueron mencionados por primera vez en 2004 en la revista *Science* por Richard Thompson, quien destacó su impacto ambiental en los mares [1]. Los microplásticos son pequeñas piezas de plásticos que pueden medir desde unos cuantos nanómetros hasta 5 mm de diámetro. Éstos se dividen en *microplásticos primarios* que derivan de empaques plásticos como botellas de agua, envolturas de alimentos o envases de detergentes, y los *microplásticos secundarios* que son producidos



por la degradación física, química y biológica en el medio ambiente de plásticos vírgenes como el PS, el PP, el polietileno (PE) y la poliamida (PA) [2].

Como sus nombres lo indican, PS, PP, PE, PA, y otros, se denominan polímeros, éstos están formados por grandes moléculas formadas a partir de enlaces covalentes de moléculas más simples llamadas monómeros. Para que estos polímeros puedan producirse, es necesario el uso de aditivos tóxicos como metales pesados (plomo, cadmio, cromo, etc.) usados en colorantes, estabilizadores y plastificantes. Otros componentes tóxicos incluyen ftalatos y bisfenol A, los cuales mejoran la flexibilidad, viscosidad y minimizan la degradación térmica y lumínica. Los microplásticos tienen una superficie específica alta y son intrínsecamente hidrofóbicos, estas propiedades permiten la absorción química de otros componentes tóxicos como el dicloro difenil tricloroetano, mejor conocido como DDT o los policlorobifenilos (PCB) [3].

Todos estos componentes tóxicos se degradan en cuerpos de agua como mares, ríos y lagos; por ejemplo, en aguas del mar de Tijuana, Nayarit, Veracruz y el Caribe, se ha encontrado una alta concentración de microplásticos que a su vez han entrado a la cadena trófica ya que se han encontrado en peces, calamares, crustáceos y otras especies marinas [4]. Esto implica que los seres humanos también consumimos estos microplásticos contaminados con sustancias tóxicas. Aunque el efecto exacto de estas toxinas en nuestro sistema aún se encuentra en estudio, se sabe que muchas de estas toxinas son cancerígenas, mutágenas y teratogénicas, lo que plantea efectos preocupantes.

En estudios realizados en animales, se ha encontrado que los microplásticos pueden causar trastornos en el microbiota del intestino, impactos negativos en el sistema inmune y la salud general de las células, formación de granulomas, problemas hepáticos, vesiculares, cardiopulmonares y del sistema reproductor [5]. Además, como se mencionó, dada la alta superficie específica, los microplásticos pueden albergar bacterias aumentando el riesgo de infecciones estomacales, desnutrición, inmunodeficiencia y retrasos en el desarrollo mental [5].

Éstos son sólo algunos efectos que se han encontrado, y como se mencionó, el impacto en los seres humanos aún está en estudio. Sin embargo, se ha determinado que la cantidad de microplásticos que un humano consume de fuentes como el agua o el aire es preocupante. Se ha demostrado que, en tan sólo un 15% de una dieta de una persona estadounidense, se consumen hasta 211,000 microplásticos anualmente [6]. Se ha encontrado además que el promedio de microplásticos en, por ejemplo, agua embotellada es de 94.37 microplásticos por litro, mientras que en un gramo de azúcar hay 0.44 microplásticos [6], otros datos de este estudio se observan en la **Figura 1**.



Figura 1. Cantidad aproximada de partículas de microplásticos contenidas en diferentes fuentes de consumo (es.statista.com)

Los estudios relacionados a la identificación, consumo y repercusiones de los microplásticos en el medio ambiente y la salud representan sólo una fracción de la compleja realidad actual. Aunque el

impacto exacto en los seres humanos aún no está completamente claro, los hallazgos en animales y otros organismos son altamente preocupantes. Es por esta razón que en los últimos años se han intensificado esfuerzos para desarrollar dispositivos que permitan detectar microplásticos en muestras de agua, con el objetivo de identificar sus características.

Antecedentes

Dada la creciente concientización sobre la alta cantidad de microplásticos en cuerpos de agua y su ingreso a la cadena trófica, se han desarrollado diferentes tipos de estrategias tecnológicas con el objetivo de su detección en muestras de agua. Estas estrategias se basan principalmente en 4 pasos [7]:

1. **Muestreo:** consiste en la toma de muestras de agua (embotellada, de la llave, etc.).
2. **Preproceso:** se realiza un tratamiento químico para eliminar agentes orgánicos.
3. **Separación:** clasifica los microplásticos según su tamaño, densidad u otras características.
4. **Determinación:** mediante análisis específicos como Raman, microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y otras se determina el tipo de plástico.

Las estrategias basadas en los cuatro pasos mencionados suelen ser costosas, consumir mucho tiempo y requerir un alto nivel de especialización. Por esta razón, actualmente se están desarrollando plataformas que aborden estos desafíos de manera más rápida, económica y mediante el uso de dispositivos compactos. Un ejemplo destacado son los dispositivos microfluídicos diseñados para la detección de microplásticos. La microfluídica, una ciencia que estudia el comportamiento de fluidos en microcanales de aproximadamente 100 micras de diámetro, ha demostrado ser eficaz en este campo. Elsayed et al. [7] desarrollaron un prototipo con microreservorios y microfiltros para atrapar microplásticos de polimetilmetacrilato (PMMA) según su tamaño, en un rango de entre 1 y 100 μm (**Figura 2a**). Una vez atrapados, los microplásticos fueron analizados mediante espectroscopía óptica para determinar su tipo y tamaño, y posteriormente se empleó citometría de flujo para identificar aquellos cuyos tamaños habían perdido su naturaleza química.

Otro ejemplo es el estudio realizado por Zhang et al. [8], donde identificaron y cuantificaron microplásticos presentes en sedimentos de río y muestras biológicas (intestinos de peces). En este trabajo se desarrolló un dispositivo de microfluídica que atrapa microplásticos con un diámetro superior a 45 μm utilizando un filtro de acero. Una vez en el filtro, el tamaño y el tipo de los microplásticos fueron analizados por medio de microscopía de fluorescencia, SEM y FTIR. Los polímeros detectados en las muestras de río incluyeron PS, PP y PMMA, con un conteo de entre 20 y 40 partículas en 100 μL , mientras que en las muestras biológicas se encontraron entre 30 y 50 partículas en 230 μL . La imagen de SEM de uno de los microplásticos detectados se muestra en la **Figura 2b**.

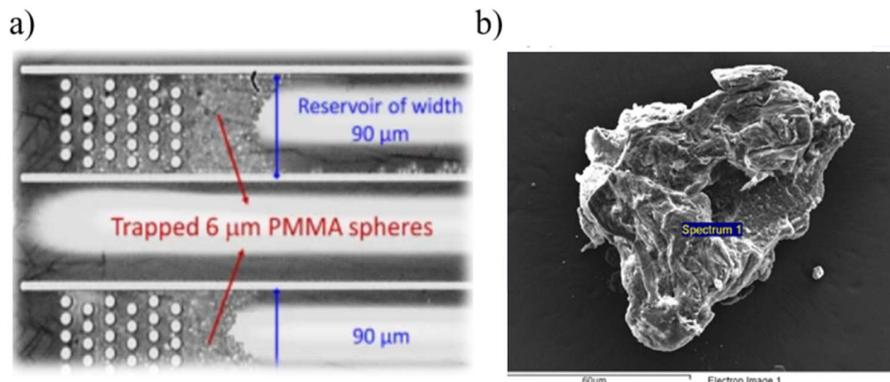


Figura 2. a) Dispositivo de filtrado de microplásticos [7] y b) ejemplo representativo de un SEM de microplástico [8].

Otra técnica para la separación de partículas que son aplicadas para la separación de microplásticos es el uso de la fuerza de dielectroforesis. La fuerza de dielectroforesis permite el movimiento de partículas no cargadas mediante un campo eléctrico no uniforme. Esta fuerza suele ser modelada por el momento de dipolo de una partícula neutra, esférica y polarizable; suspendida en un medio con propiedades electromagnéticas diferentes a las de la partícula (Ecuaciones 1 y 2):

$$\langle \vec{F}_{DEP} \rangle = 2 \pi \epsilon_m \text{Re}[K] R_p^3 \nabla \vec{E}^2 \quad (1)$$

$$K = \frac{\epsilon_p^* - \epsilon_m^*}{\epsilon_p^* + 2\epsilon_m^*} \quad (2)$$

La ecuación 1 nos dice que la fuerza promedio causada por la dielectroforesis en una partícula esférica ($\langle \vec{F}_{DEP} \rangle$) es proporcional al cubo del radio de la partícula (R_p^3), al cuadrado de la intensidad del gradiente del campo eléctrico ($\nabla \vec{E}^2$), al valor de la permitividad eléctrica del medio circundante (ϵ_m) y a la parte real del factor Clausius-Mossotti ($\text{Re}[K]$). Este último valor describe el grado de polarizabilidad que existe entre la partícula y el medio que la circunda, con base en sus permitividades eléctricas complejas (ϵ_p^* y ϵ_m^* , respectivamente). Si las propiedades electromagnéticas de la partícula y del medio fueran idénticas, el factor K sería igual a cero, lo que resultaría en una fuerza de dielectroforesis nula. Sin embargo, cuando estas propiedades son diferentes y se conocen las características electromagnéticas del medio (como el agua, por ejemplo), es posible deducir las propiedades de la partícula analizando cómo la fuerza de dielectroforesis afecta su movimiento y comportamiento según su tamaño. Esto, a su vez, permite identificar el material del que está compuesta la partícula.

En el trabajo de Sun et al. [9], se desarrolló un sistema de microfluídica que permite atrapar, direccionar y clasificar microplásticos por medio de dielectroforesis. El sistema consistió en un dispositivo con una entrada y al menos 2 salidas, en la parte central se colocaron dos electrodos para generar un campo eléctrico a partir de corriente alterna (**Figura 3a**). Agua con partículas de PS y sílice fue inyectada en la entrada del sistema, al atravesar el campo eléctrico, las partículas fueron separadas en diferentes flujos, siendo dirigidas exitosamente a diferentes salidas (**Figura 3b**).

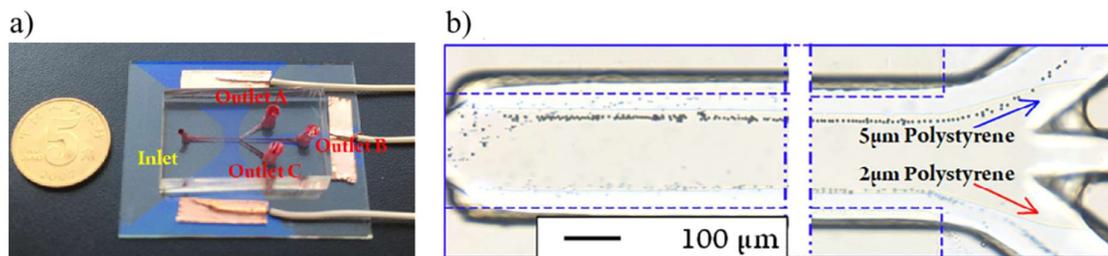


Figura 3. a) Prototipo de dispositivo microfluídico para separación de partículas por medio de fuerzas de dielectroforesis [9] y **b)** Separación de partículas al interior del microcanal [9].

Otro ejemplo de la aplicación de la fuerza de dielectroforesis para la separación y detección de microplásticos es el trabajo realizado por Gao et al. [10] cuyo objetivo fue el desarrollo de un prototipo para la separación de partículas no deseadas (microplásticos) de las algas *Chlorella*. El sistema diseñado contaba con tres entradas y dos salidas conectadas por un microcanal de 80 µm. En la parte central se colocaron dos electrodos, uno a cada lado del microcanal principal, generando un campo eléctrico mediante corriente directa con voltajes de entre 5 y 40 V. Las muestras consistieron en algas suspendidas en agua, previamente absorbidas y recubiertas con diferentes porcentajes de partículas de PS. Los resultados mostraron que un voltaje de entre 25 y 30 V era suficiente para generar un flujo que dirigía los microplásticos hacia una de las salidas, logrando así separarlos de las algas.



La integración de la microfluídica con técnicas como el filtrado y la fuerza de dielectroforesis ha demostrado ser una solución prometedora para enfrentar el problema de los microplásticos en muestras de agua. Estas herramientas permiten detectar, separar e identificar microplásticos de manera rápida, económica y confiable a diferencia de técnicas como Raman, SEM o FTIR que suelen ser costosas y requerir equipo y personal especializado. Sin embargo, en México el desarrollo y la implementación de estas tecnologías aún son limitados lo que presenta un nicho de oportunidades para generar investigación, proyectos y patentes que adapten estas herramientas a necesidades actuales para un monitoreo efectivo del sistema hídrico.

Fundamentación como proyecto de base tecnológica

La propuesta es un proyecto de base tecnológica que integra microfluídica y dielectroforesis para abordar la contaminación por microplásticos, un problema ambiental y de salud pública. Esta tecnología ofrece un enfoque innovador, eficiente y accesible para la identificación y clasificación de microplásticos en muestras de agua, superando a los métodos tradicionales por su rapidez, economía y compacidad. Además, presenta un alto potencial de transferencia tecnológica debido a los siguientes elementos:

1. Novedad tecnológica en la detección de microplásticos: Actualmente, las técnicas como la espectroscopía Raman o FTIR son costosas, requieren equipo especializado y análisis complejos. La combinación de microfluídica y dielectroforesis ofrece un enfoque alternativo, más rápido y portátil, que permite separar microplásticos en función de sus propiedades electromagnéticas, utilizando campos eléctricos generados de manera controlada en microcanales. Se aprovecha la capacidad de manipular y clasificar partículas mediante la diferencia en su permitividad eléctrica, lo que representa una innovación tecnológica que incrementa la especificidad en la identificación y clasificación de microplásticos de tamaños micro y nanométricos.

2. Viabilidad técnica para la aplicación en microplásticos: Los microcanales y microelectrodos pueden fabricarse mediante tecnologías como la impresión 3D de resina, que permiten alcanzar tolerancias precisas, cruciales para manipular partículas en el rango de micrómetros. Esto asegura una producción reproducible y económica, facilitando la transferencia al mercado. Además, el dispositivo permite el uso de cantidades mínimas de agua y reactivos, reduciendo costos operativos y el impacto ambiental del proceso de análisis.

3. Aplicación en entornos diversos: Este dispositivo tiene el potencial de ser utilizado en laboratorios móviles, áreas remotas o zonas costeras, donde el monitoreo de microplásticos es crítico, por ejemplo, en playas, ríos y sistemas de tratamiento de agua.

4. Contribución a los ODS: Esta tecnología se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con agua limpia, acción por el clima y salud pública.

5. Potencial de escalabilidad: Aunque inicialmente enfocado en microplásticos, la tecnología puede adaptarse para detectar otros contaminantes o partículas de interés.

6. Integración con tecnologías emergentes: El dispositivo puede combinarse con sensores IoT y sistemas de análisis de datos para crear plataformas inteligentes de monitoreo ambiental.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar, desarrollar y caracterizar un dispositivo portátil para la detección y clasificación de microplásticos en muestras de agua, que supere las limitaciones actuales en cuanto a costo, portabilidad y resolución analítica, con el fin de contribuir a la evaluación y monitoreo de contaminantes emergentes, protegiendo así la salud pública y la integridad de los ecosistemas acuáticos en México.



Objetivos específicos

Técnicos:

- Alcanzar una precisión superior al 90% en la identificación y diferenciación de 4 tipos de polímeros comunes en microplásticos (Nylon, Poliestireno, Polipropileno y Polietileno) en rangos de tamaños de 1 a 20 micras.
- Gestionar la protección de propiedad intelectual mediante patentes o registros de los métodos tecnológicos desarrollados.
- Generar publicaciones científicas en revistas especializadas que respalden la validez técnica del dispositivo y aporten evidencia científica sobre la composición química, distribución y posibles efectos ambientales de los microplásticos
- Obtener certificaciones técnicas y ambientales que avalen la confiabilidad y aplicabilidad del dispositivo en contextos normativos y de monitoreo ambiental.

Comerciales:

- Posicionar el dispositivo como líder en consultorías ambientales y empresas embotelladoras con una participación de mercado del 30% en 3 años.
- Establecer alianzas estratégicas con embotelladoras líderes como Bonafont o FEMSA.

Sociales y Ambientales:

- Contribuir con la generación de leyes mexicanas para la detección y regulación de microplásticos en fuentes de agua y agua potable mediante análisis avanzados usando nuestro dispositivo.
- Concientización de la población, las empresas y el gobierno sobre la existencia y problemas causados por los microplásticos.

Mercado objetivo

El dispositivo propuesto está diseñado para cubrir las necesidades actuales de las consultoras ambientales, así como embotelladoras de agua que operan en la República Mexicana, ofreciendo una solución tecnológica para el monitoreo de microplásticos. Estas empresas podrían implementar nuestro dispositivo en cuatro niveles estratégicos:

1. Programas nacionales de vigilancia ambiental, como el Programa Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua de CONAGUA, donde la detección estandarizada de microplásticos está cobrando relevancia regulatoria.
2. Políticas públicas emergentes enfocadas en la protección de recursos hídricos y salud pública, en el cumplimiento de normas que se refieran a los límites máximos permisibles de contaminantes como podría ser la NOM-001-SEMARNAT-2021.
3. Proyectos de sostenibilidad con corporativos privados donde empresas líderes requieren evaluar su huella plástica como parte de sus estrategias Ambiental, Social y Gubernamental (ESG por sus siglas en inglés).
4. Certificaciones “agua libre de microplásticos” para empresas que produzcan agua embotellada y plantas purificadoras que quieran garantizar agua de alta pureza.

Beneficios clave para consultoras:

- ✓ Reducción de en costos de análisis vs. métodos tradicionales
- ✓ Capacidad para atender más proyectos con mismo personal
- ✓ Alta movilidad en regiones remotas

Este dispositivo no solo moderniza sus operaciones técnicas, sino que posiciona a las consultoras como pioneras en la implementación de tecnologías de vanguardia para la gestión ambiental en México.



Legislación mexicana vigente y microplásticos

Actualmente en México no existe el término *microplástico* o similar dentro de las normas mexicanas en temas de calidad del agua, por lo tanto, no existe una norma particular para el control e identificación de estos contaminantes. Para identificar impurezas en muestras de agua, México cuenta con normas como la NMX-AA-004-SCFI-2013 que establece métodos para medir sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, y la NMX-AA-034-SCFI-2015 que analiza y mide sólidos y sales disueltas en agua [11,12]. Ambas normas describen métodos simples para determinar la cantidad de sólidos existentes en el agua como la sedimentación y la filtración del agua sin especificar el tipo de material.

Estas normas están vinculadas a la NOM-001-SEMARNAT-2021 la cual establece límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y cuerpos de agua de la nación mexicana. Esta norma contempla las especificaciones, métodos de prueba, muestreos, parámetros de temperatura, medición de la toxicidad, parámetros para evaluar la calidad del agua, factores como niveles de sales, de Nitrógeno, de cianuro, organismos coliformes, entre otros.

Dado que se ha dado a conocer a nivel mundial el problema que existe con respecto a la contaminación de agua con microplásticos, la legislación mexicana está empezando a hacer cambios en diferentes leyes. Por ejemplo, en noviembre de 2023 la cámara de diputados reformó la Ley General de Salud adicionando un párrafo tercero al artículo 269 el cuál prohíbe el uso de microplásticos para la elaboración de productos cosméticos, esta reforma fue justificada mediante estudios realizados en principalmente en Estados Unidos, Inglaterra y Brasil [13]. Además, La Ley General Para La Prevención Y Gestión Integral De Los Residuos de 2023 hace énfasis en temas como el uso de nuevas tecnologías para detección de contaminantes, planes de mapeo y participación social.

Dado que la contaminación del agua con microplásticos es un tema reciente en México y aún no existen normas específicas para su medición y gestión, la propuesta descrita en este documento busca contribuir al desarrollo de estas legislaciones mediante la concienciación sobre el problema y la promoción de tecnologías innovadoras que permitan la identificación de contaminantes y la prevención de enfermedades en la población mexicana. Asimismo, se pretende impulsar la realización de estudios en el país, para reducir la dependencia de investigaciones realizadas por instancias extranjeras y fortalecer las capacidades nacionales.

Reseña breve del prototipo a desarrollar

Se propone desarrollar un prototipo basado en un dispositivo microfluídico compacto y de bajo costo, diseñado específicamente para la detección y clasificación de microplásticos en muestras de agua. Este dispositivo combina innovaciones en microfluídica y fenómenos eléctricos para lograr un análisis eficiente y accesible.

El diseño presentado en la **Figura 4** incluye una entrada y dos salidas conectadas mediante un microcanal con dimensiones menores a 500 μm de alto y de ancho. El dispositivo opera con pequeñas cantidades de agua ($\sim 100 \mu\text{L}$) que contienen partículas esféricas de Nylon, Polipropileno, Polietileno, y Poliestireno, con tamaños de entre 1 y 20 μm . Estas partículas son introducidas a través de la entrada y fluyen por el microcanal hacia una de las dos salidas.

Para lograr la separación de las partículas, el dispositivo emplea el fenómeno de dielectroforesis. Cerca de treinta microelectrodos, colocados en paralelo uno después de otro a lo largo del microcanal, generan un campo eléctrico no uniforme utilizando corriente alterna. Este campo induce movimientos específicos en las partículas debido a las diferencias que existen entre su conductividad eléctrica y permeabilidad magnética, comparadas con las del medio que las circunda.

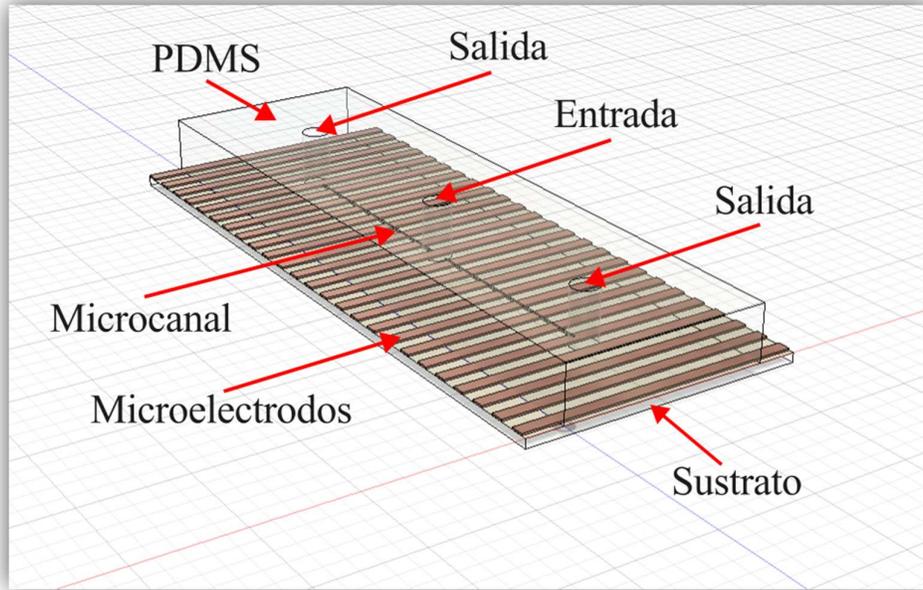


Figura 4. Modelo del prototipo de microfluídica diseñado con el software Fusion (Autodesk).

La caracterización del campo eléctrico necesario para la separación de partículas se realizará mediante una combinación del análisis teórico del efecto de dielectroforesis, simulaciones computacionales y pruebas experimentales directas en el prototipo. Este enfoque garantizará que los valores obtenidos, tanto teóricos como prácticos, sean precisos y que el dispositivo funcione de manera correcta en condiciones reales.

Metodología

Diseño del dispositivo

El diseño del dispositivo microfluídico está basado en el modelo de *Ola Viajera* o *Traveling Wave* (TW) en inglés. Este modelo permite, mediante la dielectroforesis, separar las partículas de microplásticos dependiendo de su tamaño, composición, carga y frecuencia de campo. Para esto, un gradiente de corriente alterna es generado estableciendo las corrientes de los microelectrodos en fase en un ciclo de a 0° , 90° , 180° , y 270° (ver **Figura 5**). Este cambio de fase en los microelectrodos semeja una ola que va moviendo los microplásticos a lo largo del microcanal principal [2].

Finalmente, dependiendo de las propiedades de cada tipo de polímero de las partículas de los microplásticos, éstas se van adhiriendo a diferentes locaciones en el canal, como se observa en el gif animado “AquaPlastics_Simulación_TWVoltage” de la carpeta de “Evidencia Multimedia”. Esto permite luego la identificación de cada tipo de partícula mediante la observación con un microscopio.

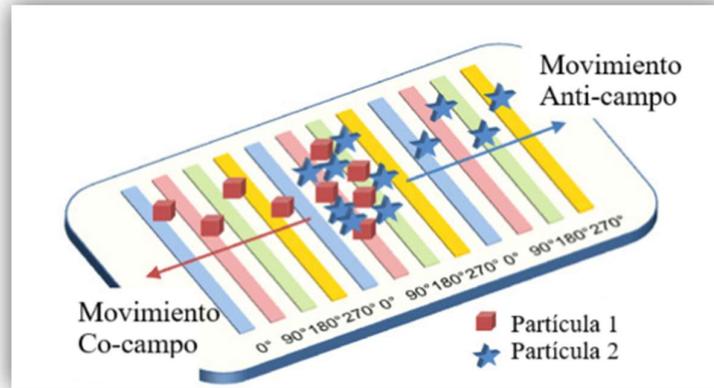


Figura 5. Diagrama de modelo de dielectroforesis de *Traveling Wave* (adaptada de [14]).

El dispositivo está formado por dos componentes principales: a) un microcanal que tiene una entrada en la parte central y dos salidas, una a cada extremo del microcanal principal y b) cerca de 30 microelectrodos de cobre de 700 micras de ancho por 1.8 cm de largo con una separación entre ellos de 700 micras sobre un sustrato de fibra de vidrio.

Simulación

Para la estimación de parámetros como voltaje y frecuencia del campo eléctrico, se llevaron a cabo simulaciones numéricas utilizando el software COMSOL para analizar el comportamiento de la fuerza de dielectroforesis por TW de partículas suspendidas en un fluido en un dispositivo microfluídico.

El objetivo fue evaluar cómo diferentes tipos de partículas reaccionan bajo la influencia de un campo eléctrico oscilante. Para ello, se modelaron partículas de Nylon, Polipropileno, Polietileno, y Poliestireno, sometidas a un voltaje sinusoidal de 8 V a 200 kHz, con el fin de obtener una visión clara de su comportamiento en el campo aplicado.

Los resultados de las simulaciones se presentan en forma de gifs (carpeta “Evidencia Multimedia”), donde se visualiza el voltaje aplicado, el gradiente del campo eléctrico y la trayectoria seguida por las partículas a lo largo del tiempo. Estas representaciones dinámicas permiten observar cómo la fuerza de dielectroforesis afecta a las partículas en función de su material y de las características del campo eléctrico, proporcionando información clave para optimizar el diseño y funcionamiento del dispositivo microfluídico en aplicaciones prácticas.

En la **Figura 6** es posible observar una imagen de cómo va cambiando la fase de los diferentes microelectrodos del arreglo de 0 a 8 V, donde cada franja horizontal es un microelectrodo que va cambiando de color (rojo = 0V y azul = 8V).

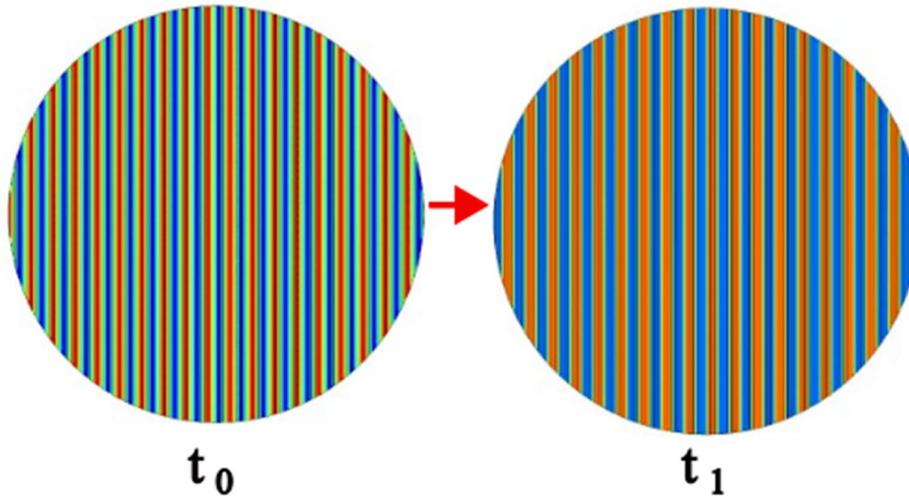


Figura 6. Simulación del cambio de fases de los microelectrodos en el tiempo.

En la **Figura 7**, se ilustra una imagen de cómo las partículas Nylon, Polipropileno, Polietileno, y Poliestireno se quedan estáticas en alguno de los microelectrodos dependiendo de las propiedades electromagnéticas de los polímeros y del medio circundante (agua en este caso), así como del gradiente del campo eléctrico, tal como se describe en la ecuación (1).

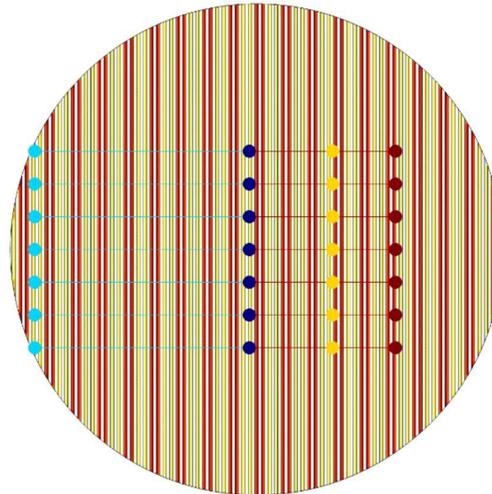


Figura 7. Simulación del movimiento de las partículas de Nylon (rojo), Polipropileno (amarillo), Polietileno (azul marino), y Poliestireno (celeste).

Fabricación y ensamble del dispositivo

A continuación, se describe la metodología que se siguió para la fabricación de los moldes maestros, el microcanal, los microelectrodos y se muestra el dispositivo final en la **Figura 15**.

Fabricación del microcanal

1. Diseño del modelo 3D del microcanal (**Figura 8**) mediante el software CAD Fusion (Autodesk).

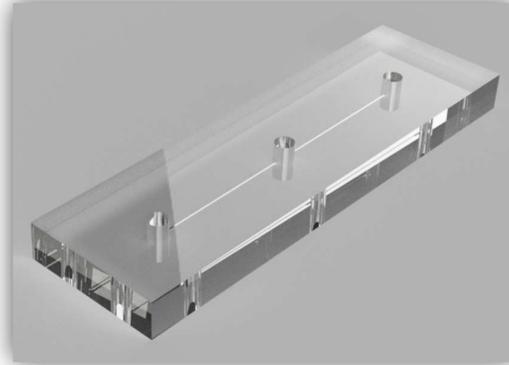


Figura 8. Modelo 3D del microcanal en PDMS

2. A partir del modelo 3D, fabricación de molde maestro (**Figura 9**) usando una máquina de impresión 3D de resina fotosensible Frozen Sonic Mighty 8k.



Figura 9. Molde maestro fabricado en resina mediante impresión 3D.

3. Limpieza del molde por medio de alcohol isopropílico para eliminar resina no curada e impurezas, y preparación del molde por medio de la adición de un agente desmoldante.

4. Mezcla del polímero polidimetilsiloxano (PDMS) y desgasificación de éste por medio de una cámara de vacío para eliminar cualquier posible burbuja (**Figura 10**).



Figura 10. Vaso de precipitado con PDMS y extracción de burbujas por medio de vacío.

5. Adición de desmoldante al molde maestro y vertido del PDMS evitando formación de burbujas. Aplicación nuevamente de vacío para eliminación de burbujas (**Figura 11**).



Figura 11. Vertido del PDMS al molde maestro y eliminación de burbujas por vacío.

6. Curado térmico del PDMS por medio del uso de un horno a 60°C por 1 o 2 horas para lograr un modelo sólido.

7. Desmolde del modelo final de PDMS.

8. Corte y perforación de puertos de entrada y salida en el modelo fabricado con PDMS.

9. Obtención del microcanal en PDMS, éste se puede observar en la **Figura 12**.

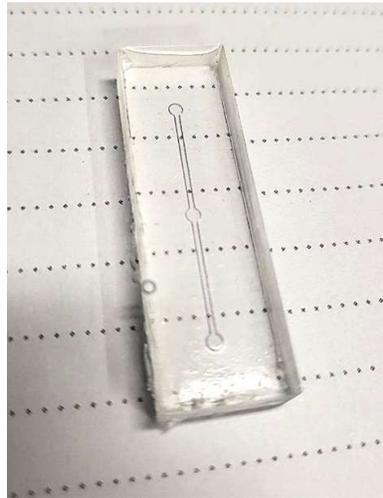


Figura 12. Microcanal fabricado en PDMS.

Fabricación de microelectrodos:

1. Diseño de los microelectrodos mediante el software CAD Fusion (Autodesk) (**Figura 13**).

2. Generación del código necesario para llevar a cabo el fresado de la placa fenólica para lograr la fabricación de los microelectrodos.

3. Configuración de los parámetros necesarios para ejecutar el corte de la pieza fresada de la placa fenólica.

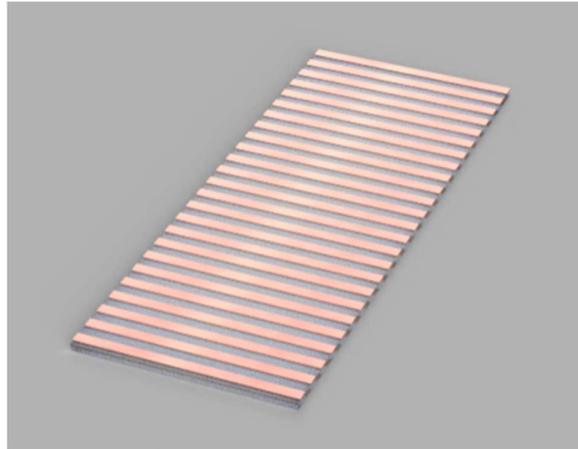


Figura 13. Modelo 3D de los microelectrodos de cobre diseñados en el software Fusion (Autodesk)

4. Finalizadas las etapas de fresado y corte, es necesario limpiar los microelectrodos con una fibra mineral abrasiva para eliminar impurezas residuales de los microelectrodos que pueden afectar la conductividad.

5. Obtención de los microelectrodos, éstos pueden observarse en la **Figura 14**.

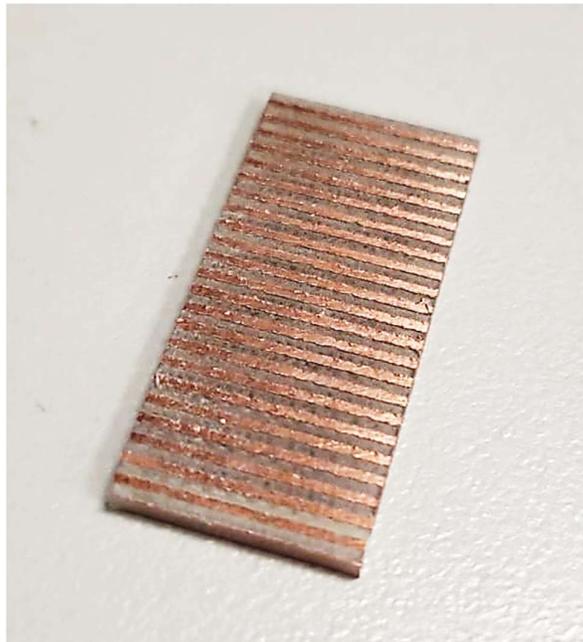


Figura 14. Microelectrodos de cobre fabricados mediante CNC.

Dispositivo final

En la **Figura 15**, se muestra el dispositivo final ensamblado con sus dos componentes principales el microcanal de PDMS y los microelectrodos de cobre.

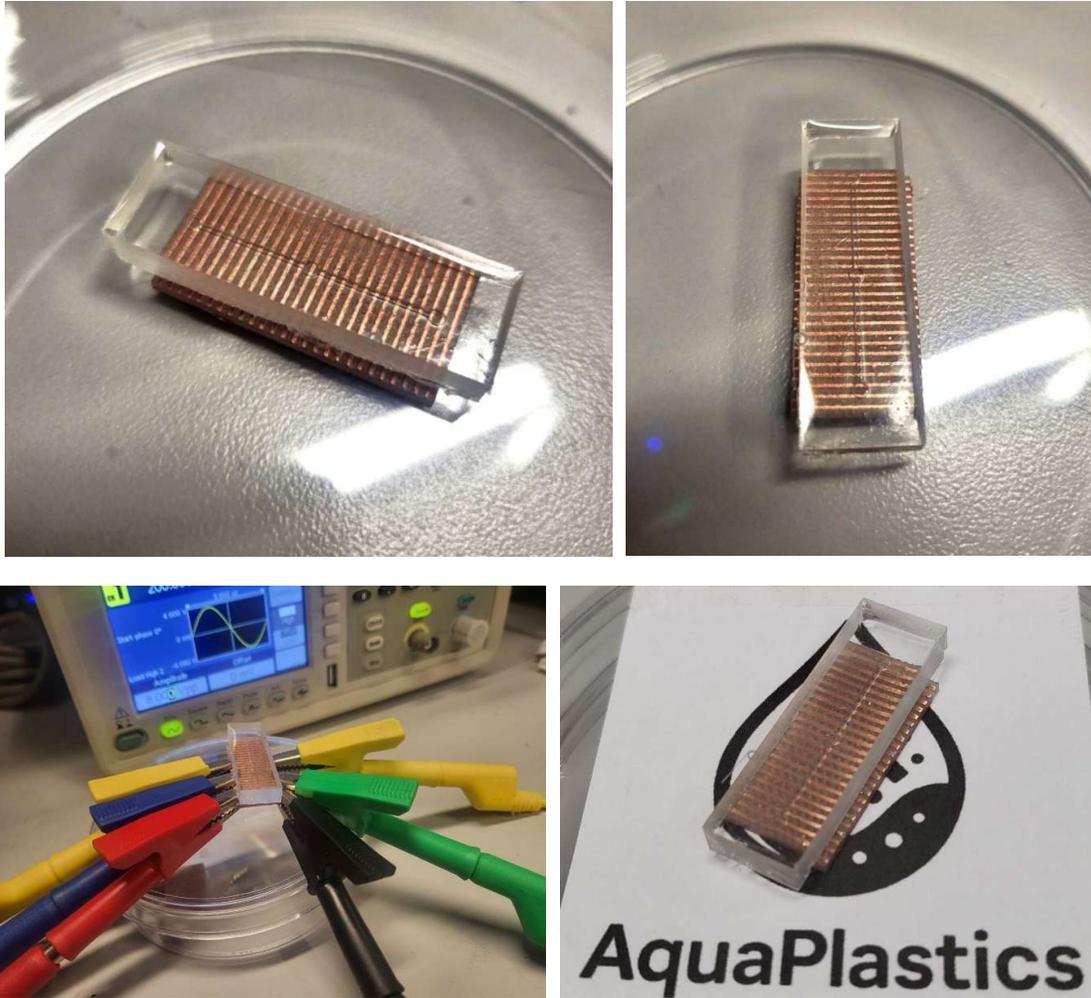


Figura 15. Ensamble final del dispositivo propuesto.

Trabajo técnico a futuro

El proyecto propuesto ha cumplido hasta el momento con el objetivo de establecer una metodología confiable para el diseño de las dimensiones y la geometría del canal microfluídico y de los microelectrodos, así como para la fabricación del dispositivo y la determinación de parámetros operativos clave, como el voltaje y la frecuencia.

El siguiente paso para avanzar hacia la comercialización del dispositivo en el país es la fase experimental. En esta etapa se propone seguir una serie de procedimientos destinados a validar los resultados teóricos y de simulación obtenidos hasta ahora. A continuación, se describen brevemente los pasos a seguir.

Fase experimental para la medición y cuantificación de microplásticos

Para la fase experimental de la propuesta se proponen los siguientes pasos:

1. Muestra estándar: Para la caracterización de los microplásticos y su comportamiento dentro del campo eléctrico y fuerza de dielectroforesis, se preparará una muestra estándar de 1 mL que contenga partículas esféricas de microplásticos de Poliestireno fluorescente con un diámetro de $\sim 10 \mu\text{m}$ en un medio de agua desionizada.



2. Remoción de material orgánico: Para la eliminación de cualquier material orgánico, se añadirá H_2O_2 al 30% a la muestra con el objetivo de que en ésta queden únicamente microplásticos (aplica para muestras no estándar).

3. Inyección al prototipo: En esta etapa, se inyectará la muestra estándar en la entrada del dispositivo mediante una jeringa, llenando completamente el canal microfluídico. A medida que la muestra fluya por el canal principal, entrara en contacto con el arreglo de microelectrodos y por lo tanto con el gradiente de campo eléctrico no homogéneo. Esta interacción permitirá la separación y clasificación de las partículas según sus propiedades dieléctricas.

4. Caracterización de la fuerza de dielectroforesis: En este paso se caracterizará experimentalmente el comportamiento de los microplásticos de la muestra estándar al ser expuestos a un campo eléctrico no homogéneo. El objetivo es determinar las propiedades dieléctricas reales del microplástico de interés, combinando los cálculos teóricos con los valores obtenidos a partir de la simulación.

6. Cuantificación (Validación): Para cuantificar los microplásticos retenidos en cada sección del microcanal, se empleará un microscopio de fluorescencia para obtener imágenes, las cuales serán analizadas posteriormente mediante un software de análisis de partículas como ImageJ. Este análisis permitirá determinar la cantidad, el tamaño y el tipo de microplásticos presentes en cada región del microcanal.

Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos a partir de la metodología planteada para el desarrollo del dispositivo fueron, en términos generales, satisfactorios y cumplieron en gran medida con los objetivos técnicos propuestos. En la etapa inicial, centrada en el análisis teórico y las simulaciones, se logró reproducir con éxito el fenómeno de dielectroforesis dentro de un microcanal utilizando el software COMSOL. A partir de estas simulaciones se determinaron parámetros clave, como un voltaje de 8 V y una frecuencia de 200 kHz, los cuales permitieron obtener una separación efectiva de microplásticos. Este modelado, que representa la dinámica de las partículas en un medio acuoso, evidenció cómo la fuerza de dielectroforesis varía en función del tipo de material y de las características del campo eléctrico aplicado, información esencial para afinar tanto el diseño como la operación del dispositivo microfluídico en aplicaciones reales.

Por otro lado, los objetivos vinculados con la fabricación física del dispositivo se alcanzaron de manera satisfactoria. Gracias a la experiencia técnica del grupo en fabricación de microtecnología, fue posible establecer una metodología precisa para la construcción del sistema, que abarcó desde la creación del molde maestro hasta la definición de los materiales y técnicas empleados en la fabricación del microcanal y de los microelectrodos. Esta fase incluyó también la validación del proceso de ensamblaje y sellado del dispositivo, garantizando su funcionalidad y compatibilidad con las futuras pruebas experimentales. Además, se sentaron las bases para una fabricación escalable, lo cual representa un paso clave hacia la eventual producción y comercialización del sistema.

Conclusiones

Los resultados obtenidos hasta el momento demuestran que la metodología propuesta es sólida tanto en el plano teórico como en el práctico. La simulación exitosa del fenómeno de dielectroforesis permitió establecer parámetros operativos fundamentales para el diseño del dispositivo, mientras que la fabricación física validó la viabilidad técnica del prototipo utilizando recursos disponibles y técnicas reproducibles. Estos avances consolidan una base técnica robusta sobre la cual se podrá avanzar hacia la fase experimental, validando el funcionamiento del sistema en condiciones reales y sentando las bases para su futura implementación comercial.



Plan de negocios

A continuación, en esta sección se presenta el plan de negocios diseñado para llevar esta propuesta de innovación tecnológica a la creación de una empresa sostenible y que atienda las necesidades ambientales actuales. Se detallarán los pilares financieros, operativos y comerciales que garantizarán no solo la viabilidad técnica del dispositivo, sino su rentabilidad económica y potencial de impacto ambiental a escala nacional.

Descripción general de la empresa y su organización

AquaPlastics es una empresa 100% mexicana de base tecnológica que pretende ofrecer soluciones innovadoras para la detección y el análisis de microplásticos en cuerpos de agua y agua de consumo humano. El producto que se ofrece es un detector portátil AquaPlastics-Micro que combina la microfluídica, el fenómeno de dielectroforesis y el análisis por medio de microscopio óptico ofreciendo resultados en tiempo real (in situ) superando así los métodos tradicionales de laboratorio en velocidad, eficiencia y practicidad.

Dirigido principalmente a consultorías ambientales, nuestro dispositivo no solo proporciona datos confiables, sino que impulsa programas de certificación y sostenibilidad, posicionándose como herramienta clave en la protección de los recursos hídricos y la salud pública en México.

La empresa es un StartUp en crecimiento con al menos 11 empleados organizados como se muestra en la **Figura 16** y como se describe a continuación:

1. Dirección general
 - a. Un CEO (Chief Executive Officer): Toma de decisiones críticas y estratégicas, alianzas con diversas entidades y captación de inversionistas.
 - b. Un COO (Chief Operations Officer): Supervisión de producción y logística.
2. Área técnica
 - a. Dos ingenieros expertos en fabricación, microfluídica y electrónica.
 - b. Dos técnicos especializados para fabricación y solución de problemas técnicos.
 - c. Un técnico encargado de ensamble y control de calidad.
3. Área comercial
 - a. Ventas B2B: Un ejecutivo responsable de ventas, contacto con consultorías y embotelladoras.
 - b. Marketing: Un especialista en comercialización del producto mediante página web, redes sociales y lead generation (webinars)
4. Administración
 - a. Un contador y un asistente para gestión de facturas, salarios, declaraciones e impuestos.



Figura 16 Organización inicial propuesta para la empresa AquaPlastics.



Análisis del mercado y la competencia

El mercado global de detección y monitoreo de microplásticos está experimentando un crecimiento significativo, impulsado por la creciente conciencia sobre los impactos ambientales y sanitarios de la contaminación por plásticos. Este auge se refleja en la demanda de tecnologías innovadoras que permitan identificar y cuantificar microplásticos de manera eficiente.

Para brindar una visión más clara de las opciones disponibles en el mercado, a continuación, se presenta una tabla comparativa que detalla las características y precios de los dispositivos comerciales actuales, contrastándolos con las ventajas competitivas del prototipo propuesto en esta iniciativa.

Nombre	Compañía	Principio de funcionamiento	Precio (usd)
AquaPlastics-Micro (Propuesta)	AquaPlastics	Dielectroforesis en un sistema microfluídico.	~120
iN10 MX Dual Detector Microplastics Analyzer Bundle	Thermo Fisher Scientific (Estados Unidos)	Microscopio Nicolet RaptIR FTIR	~ 35,000
Horiba Bundle (XploRA™ PLUS, kit de filtración, estándares de microplásticos y software ParticleFinder)	Horiba (Japón)	Espectroscopía Raman	~40,000
LUMOS II	Bruker (Alemania)	Microscopio FTIR	~35,000
Saturna Imaging System	Ocean Diagnostics (Canada)	Cámara digital y análisis mediante Inteligencia Artificial (Machine Learning)	649

De la tabla anterior, es posible observar que la mayoría de los dispositivos comerciales que se venden actualmente para detección de microplásticos son altamente costosos y es necesario que la muestra sea enviada al laboratorio para su análisis. Por otro lado, no se encontró un dispositivo comercial de origen mexicano, lo que puede indicar un nicho de oportunidad para el prototipo propuesto.

Estimación del costo del dispositivo

A continuación, se muestra la estimación del costo por dispositivo, para este cálculo se toman en cuenta costos directos, costos indirectos y costos fijos.

Costos directos (variables por unidad)

a) Materiales

Insumo	Unidad	Precio		Rinde (no. piezas)	Costo	
		MXN	USD		MXN	USD
Resina fotosensible	1000 gr	\$750	\$36.78	90	\$8.33	\$0.41
Desmoldante	280 gr	\$63	\$3.09	50	\$1.26	\$0.06
Alcohol IPA	8 L	\$750	\$36.78	100	\$7.50	\$0.37
PDMS	500 gr	\$3,144.75	\$154.23	50	\$62.89	\$3.08
Adhesivo	5 m	\$1000	\$49.04	200	\$5.00	\$0.24
Placa fenólica cobre	10 uds.	\$3000	\$147.13	2250	\$1.33	\$0.07
Microbrocas de carburo Tungsteno	100 uds.	\$3000	\$147.13	800	\$3.75	\$0.18
Cable	100 m	\$240	\$11.77	200	\$1.2	\$0.06
Mano de obra x 2	1 mes	\$18,000	\$882.78	1200	\$15	\$0.74
Embalaje	600	\$6000	\$294.26	600	\$10	\$0.49



Costo total por unidad	\$116.27	\$5.70
------------------------	----------	--------

Tipo de cambio 1 MXN = 20.39 USD

b) Mano de obra

Insumo	Unidad	Precio		Rinde (no. piezas)	Costo	
		MXN	USD		MXN	USD
Fabricación	1 día	\$278.80	\$	15	\$18.53	\$0.90
Ensamblaje	1 día	\$278.80	\$	15	\$18.53	\$0.90
Costo total por unidad					\$37.06	\$1.82

Tipo de cambio 1 MXN = 20.39 USD

Costos indirectos (Fijos amortizados por unidad)

Equipo	Costo		Vida útil (unidades)	Costo por unidad	
	MXN	USD		MXN	USD
Impresora 3D de resina Phrozen Sonic Mighty 8K (para molde maestro)	\$8,563.60	\$419.99	30,000 (un molde puede usarse hasta 3 veces)	\$0.09	\$0.004
Lámpara UV	\$2,446.80	\$120	30,000 (un molde puede usarse hasta 3 veces)	\$0.49	\$0.02
Máquina CNC MODELA MDX-50	\$305,850	\$15,000	120,000	\$20.39	\$0.13
Marketing	\$20,000/mes	\$980.87	450 unidades/mes	\$44.44	\$2.18
Total				\$65.41	\$2.18

Tipo de cambio 1 MXN = 20.39 USD

Costos fijos

Concepto	Costo al mes		Costo por unidad (450 unidades al mes)	
	MXN	USD	MXN	USD
Renta de taller	\$20,000	\$980.87	\$44.44	\$2.17
Luz/ Internet	\$2000	\$98.08	\$4.44	\$0.22
Total			\$48.88	\$2.39

Tipo de cambio 1 MXN = 20.39 USD

Costo por unidad

Concepto	Costo	
	MXN/unidad	USD/unidad
Materiales	\$116.27	\$5.70
Mano de obra	\$37.06	\$1.82
Costos indirectos	\$65.41	\$2.18
Costos fijos	\$48.88	\$2.39
Total aproximado	\$267.62	\$12.09

Considerando los conceptos establecidos en las tablas anteriores, el costo para fabricar un dispositivo se estima de alrededor de \$267.62 MXN (\$12.09 USD), este cálculo no toma en cuenta ciertos gastos adicionales como pagos de salarios de personas ajenas a la fabricación del dispositivo, reparación/mantenimiento de equipo, seguros, licencias, capacitaciones, manuales, etc.



Para calcular el precio de venta inicial, se toma el costo por producir una unidad más el margen de utilidad bruta objetivo que se propone del 60% del costo por unidad. Tomando en cuenta los precios en el mercado y los gastos adicionales como trámite de patente, licencias ISO, y marketing (descrito en secciones posteriores) el precio de venta estimado por dispositivo es de \$2400 MXN o ~\$120 USD.

Desglose de productos y servicios

Nuestra propuesta se centra en dos componentes principales: el dispositivo físico y el servicio de capacitación para su uso. Ambos elementos han sido diseñados para asegurar no solo la adquisición del dispositivo de detección de microplásticos, sino también la formación necesaria para su correcta utilización y aprovechamiento. A continuación, se presenta un desglose detallado de ambos componentes:

1. Producto: Dispositivo microfluídico clasificador y detector de microplásticos AquaPlastics-Micro.

Descripción: Dispositivo portátil que permite el análisis in situ de muestras de agua mediante la combinación de dielectroforesis y microscopía óptica. Esta tecnología detecta, clasifica y cuantifica con precisión microplásticos de diversos tipos (Nylon, PP, PS, PE, etc.) y tamaños (partículas inferiores a 50µm), ofreciendo resultados inmediatos en campo sin necesidad de complejos procesos de laboratorio. Su diseño compacto y operación intuitiva lo convierten en la solución ideal para monitoreos ambientales rápidos y confiables en entornos costeros y marinos.

Características Principales:

- Detección in situ en tiempo real.
- Diseño compacto (~5cm) y fácil de transportar a regiones remotas.
- Identificación de diferentes tipos de microplásticos (Nylon, PS, PE y PP).
- Identificación de diferentes tamaños de microplásticos (de entre 10 y 50 µm)
- Precio: De 120 usd.

2. Servicio: Capacitación para uso del dispositivo microfluídico.

Descripción: Este servicio se enfoca en la capacitación del uso del dispositivo microfluídico. El servicio incluye:

- Instrucción para conectar el dispositivo correctamente a la fuente de poder que va a suplir el dispositivo con una corriente alterna para la generación del campo eléctrico.
- Pasos para la adquisición y preparación de una muestra de agua para que ésta pueda ser inyectada al dispositivo.
- Análisis de los microplásticos por medio de un microscopio óptico una vez que éstos son clasificados por el dispositivo

Estrategia de marketing y ventas

1. Análisis Inicial y Objetivos

Diagnóstico del Mercado:

- Demanda creciente:** La preocupación por la contaminación por microplásticos está en aumento, tanto en organismos reguladores como en consumidores finales.
- Competencia e innovación:** Diferenciarse como empresa 100% mexicana y de base científica, aprovechando la innovación como valor central.

Objetivos Estratégicos:

- Posicionar a la empresa como líder en soluciones de detección y análisis de microplásticos.
- Incrementar la visibilidad de la marca en el mercado nacional (y potencialmente internacional).
- Generar alianzas estratégicas en el sector público y privado.



- Aumentar la generación de leads y las conversiones a través de canales digitales y presenciales.

2. Estrategia de Marketing

A. Segmentación y Posicionamiento

- **Segmentación del Mercado:**
- **Sector gubernamental y regulador:** Ministerios, agencias ambientales y de salud, que requieren cumplir normativas y asegurar la calidad del agua.
- **Industria privada:** Empresas de tratamiento de agua, embotelladoras y consultoras ambientales.
- **Academia e investigación:** Instituciones de educación superior y centros de investigación interesados en estudios ambientales.
- **Posicionamiento:**
 - Destacar la base científica y la innovación tecnológica, haciendo énfasis en el origen 100% mexicano y en el diferenciador contra la competencia.
 - Comunicación de confiabilidad, precisión y compromiso con la salud pública y el medio ambiente.

B. Estrategia de Contenido y Branding

- **Creación de Contenido Educativo e Informativo:**
 - Publicar estudios de caso, white papers y artículos científicos que expliquen la tecnología y sus beneficios.
 - Desarrollar infografías y videos explicativos que muestren cómo la tecnología detecta microplásticos y cómo esto impacta positivamente en la salud y el ambiente.
- **Branding:**
 - Definir una identidad visual coherente (logo, colores, tipografía) que transmita los valores de la empresa, profesionalismo e innovación.
 - Desarrollar un eslogan que resuma la propuesta de valor.

C. Canales de Comunicación y Difusión

- **Presencia Digital:**
 - **Sitio Web:** Optimizar el sitio para SEO, incluyendo un blog con artículos técnicos y de divulgación.
 - **Redes Sociales:** Usar plataformas como LinkedIn para conectar con profesionales y Twitter, Instagram y Facebook para difusión general.
 - **Email Marketing:** Crear campañas para educar al público objetivo y mantener informados a clientes y aliados sobre avances y novedades.
- **Relaciones Públicas y Alianzas:**
 - Participar en conferencias, ferias y seminarios del sector ambiental y tecnológico.
 - Establecer alianzas con universidades y centros de investigación para potenciar la credibilidad y la difusión.
- **Publicidad Digital y Tradicional:**
 - Invertir en campañas de publicidad segmentadas en Google Ads y redes sociales, dirigidas a sectores clave.
 - Considerar colaboraciones con medios especializados en medio ambiente y tecnología.

3. Estrategia de Ventas

A. Modelo de Ventas y Canales

- **Estrategia B2B:**
 - Focalizar esfuerzos en relaciones personalizadas, presentaciones y demostraciones en vivo para sectores gubernamentales e industriales.



- Utilizar un equipo de ventas capacitado para explicar aspectos técnicos y beneficios concretos de la tecnología.
- **Canales Directos e Indirectos:**
 - **Directos:** Reuniones, presentaciones y demostraciones in situ.
 - **Indirectos:** Distribuidores especializados, consultoras ambientales y alianzas estratégicas con empresas del sector.

B. Proceso de Generación y Gestión de Leads

- **Lead Generation:**
 - Aprovechar estrategias de marketing de contenidos y campañas digitales para captar interés.
 - Ofrecer webinars y demos en línea para educar y generar leads calificados.
- **CRM y Seguimiento:**
 - Implementar un sistema de gestión de relaciones con clientes (CRM) para rastrear y nutrir los leads desde el primer contacto hasta la conversión.
 - Medir y analizar indicadores clave (KPIs) como tasa de conversión, tiempo de cierre y satisfacción del cliente.

C. Estrategias de Precios y Contratos

- **Modelos de Contratación:**
 - Ofrecer opciones de contratación flexibles (proyectos piloto, contratos a largo plazo, paquetes de servicios) para adaptarse a distintos tipos de clientes.
 - Destacar la relación costo-beneficio, enfatizando cómo la tecnología puede evitar problemas mayores en la calidad del agua y cumplimiento normativo.
- **Incentivos y Promociones:**
 - Implementar promociones de lanzamiento, descuentos por contratos a largo plazo o paquetes integrales para clientes estratégicos.

4. Medición y Optimización

- **KPIs y Métricas:**
 - Seguimiento del tráfico web, engagement en redes sociales y tasa de conversión en campañas digitales.
 - Evaluación de la eficacia de las demostraciones y presentaciones de ventas.
- **Feedback Continuo:**
 - Obtener opiniones de clientes y prospectos para ajustar el mensaje y la estrategia.
 - Realizar encuestas de satisfacción y análisis post-venta para mejorar la propuesta de valor.
- **Ajuste de Estrategia:**
 - Revisar periódicamente la estrategia, adaptando las tácticas según los resultados obtenidos y los cambios en el entorno del mercado.

Costos aproximados de la estrategia de marketing y ventas.

Los costos pueden variar considerablemente según la magnitud del proyecto, los recursos disponibles, el nivel de sofisticación que se requiera y el enfoque que se busque en cada acción. Sin embargo, este es un desglose general que puede servir como punto de partida.

Desglose de Costos Aproximados

1. Identidad y Branding

- Diseño de logotipo, manual de marca y materiales gráficos:
Aproximadamente entre \$2,000 y \$10,000 dependiendo de la agencia o diseñador.



2. Desarrollo y Optimización Digital

- Sitio web profesional y optimización SEO:
Entre \$5,000 y \$20,000 para desarrollo inicial, según la complejidad y funcionalidades (por ejemplo, integración de blog y secciones interactivas).
- Mantenimiento y actualizaciones:
Costos mensuales que podrían oscilar entre \$500 y \$2,000.

3. Creación de Contenido

- Producción de videos, infografías y white papers:
Un rango de \$3,000 a \$15,000 en función de la cantidad y calidad deseada para una campaña o proyecto específico. Este costo es variable según la planificación y la cantidad de contenido que se necesite.
- Redacción y gestión de blog:
Si se contrata a un redactor o agencia, podría costar entre \$500 y \$2,000 mensuales.

4. Publicidad Digital y Campañas en Redes Sociales

- Campañas de Google Ads y en redes sociales:
Un presupuesto mensual entre \$1,000 y \$5,000, lo que anualmente podría sumar entre \$12,000 y \$60,000.
- Gestión y análisis de campañas:
Servicios de agencia o consultor que podrían costar entre \$1,000 y \$3,000 mensuales.

5. Participación en Eventos y Relaciones Públicas

- Asistencia a ferias, conferencias y seminarios:
Costos anuales de \$5,000 a \$20,000, dependiendo de la cantidad y tipo de eventos.

6. Herramientas de CRM y Automatización de Marketing

- Implementación y suscripciones de CRM:
Aproximadamente \$2,000 a \$10,000 anuales, variando con el número de usuarios y funcionalidades requeridas.

Estimación Global

- Sumando todos componentes anteriores, se puede proyectar un rango total aproximado de \$30,000 a \$135,000 anuales.

Esta es una estimación general. Los costos reales dependerán de la elección de proveedores, la intensidad de las campañas y el grado de personalización que se requiera en cada acción.

La estimación presentada anteriormente es para el proyecto con un enfoque a nivel empresarial y está basado en costos comerciales generales.

Tomando en cuenta que el proyecto parte desde el ecosistema UNAM pueden existir varias oportunidades y apoyos para reducir costos:

- Recursos Universitarios: Pueden aprovechar laboratorios, herramientas y asesorías de profesores o investigadores de la UNAM, lo que podría disminuir los gastos en desarrollo y producción de contenido.
- Talento Estudiantil: Muchos estudiantes ofrecen servicios de diseño gráfico, desarrollo web o redacción a tarifas más accesibles, o incluso en el marco de proyectos académicos.



- Redes y Convenios: La propia Universidad cuenta con programas de incubación dentro del sistema InnovaUNAM y convenios con empresas que pueden ayudar a obtener precios preferenciales o mentorías.

Con estas consideraciones, el rango de costos podría ajustarse a una escala más reducida, adaptándose al presupuesto y recursos con los que se cuenta en una etapa inicial como proyecto estudiantil.

Estrategia de transferencia tecnológica

1. Identificación y Evaluación de la Tecnología

- **Inventario de Tecnologías:**
 - Determinar cuáles de los desarrollos (por ejemplo, métodos de detección, análisis de datos, prototipos de equipos) tienen mayor potencial de aplicación comercial y valor diferencial.
- **Evaluación de viabilidad:**
 - Revisar resultados de pruebas y estudios piloto para asegurar que la tecnología funcione en condiciones reales.
 - Evaluar el grado de madurez (por ejemplo, nivel de desarrollo tecnológico, o Technology Readiness Level).
- **Aspectos Legales y de Propiedad Intelectual:**
 - Detallar un plan específico para la protección de la tecnología, como el proceso de patentado y la asesoría legal, puede ser crucial para asegurar la propiedad y evitar problemas futuros.
 - Identificar qué elementos se pueden proteger (software, hardware, procesos).

2. Definición de Modelos de Transferencia

- **Licencia:**
 - Conceder derechos de uso de la tecnología a empresas establecidas a cambio de regalías o pagos iniciales.
 - Elaborar acuerdos de confidencialidad y licencias que aseguren el retorno de la inversión en investigación.
- **Spin-Off o Startup:**
 - Crear una empresa derivada que tenga la misión de comercializar la tecnología.
 - Aprovechar el ecosistema de la UNAM y programas de incubación para facilitar financiamiento y mentoría.
- **Alianzas estratégicas:**
 - Establecer convenios con empresas del sector ambiental y de tratamiento de agua para pilotar la tecnología y generar casos de éxito.
 - Colaborar con organismos gubernamentales para validar y estandarizar el uso de la tecnología en proyectos de salud pública y medio ambiente.

3. Estrategia de Implementación

A. Desarrollo de la Propuesta de Valor

- Resaltar la innovación, la base científica y el origen 100% mexicano como ventajas competitivas.
- Elaborar material técnico y de divulgación (white papers, demos, videos) que explique el funcionamiento y los beneficios de la tecnología.

B. Fortalecimiento de la Red de Contactos



- **Academia y Centros de Investigación:**
 - Aprovechar el respaldo de la UNAM para generar confianza y visibilidad.
 - Organizar seminarios y jornadas de divulgación en el entorno académico.
- **Sector Público y Privado:**
 - Contactar con instituciones y empresas de tratamiento de agua, salud pública y medio ambiente para proyectos piloto.
- **Eventos y Ferias:**
 - Participar en ferias de tecnología y medio ambiente para establecer alianzas y captar interés de potenciales inversores y socios comerciales.

C. Aspectos Contractuales y Financieros

- **Negociación de Acuerdos:**
 - Diseñar contratos de licenciamiento o colaboración que definen derechos, obligaciones y mecanismos de remuneración.
- **Financiamiento y Subvenciones:**
 - Buscar fondos y apoyos gubernamentales (convocatorias, becas y programas de innovación) para facilitar la transferencia.
- **Estrategia de Financiación y Alianzas Estratégicas:**
 - Profundizar en la búsqueda de financiamiento, ya sea a través de convocatorias, subvenciones o alianzas con inversionistas, puede fortalecer la viabilidad a largo plazo del proyecto.
- **Plan de Escalabilidad:**
 - Establecer metas a corto, mediano y largo plazo para la comercialización y la expansión de la tecnología.

4. Medición y seguimiento

- **KPIs y Métricas:**
 - Número de acuerdos de licenciamiento firmados o convenios de colaboración establecidos.
 - Tiempo de implementación de proyectos piloto y retroalimentación recibida.
 - Ingresos generados a través de regalías o la rentabilidad del spin-off.
- **Retroalimentación continua:**
 - Recoger opiniones de los primeros usuarios y socios para optimizar la tecnología y el modelo de negocio.
 - Ajustar la estrategia conforme se validen los resultados y se presenten nuevas oportunidades en el mercado.
- **Cronograma y Hoja de Ruta Detallado:**
 - Establecer fases específicas (por ejemplo, pruebas piloto, validación de mercado, escalabilidad) con tiempos definidos ayuda a mantener el proyecto en línea ya medir avances de forma concreta.
- **Gestión de Riesgos y Plan de Contingencia:**
 - Incluir un análisis de riesgos que contemple posibles obstáculos en la transferencia, tanto técnicos como comerciales, y definir estrategias de mitigación.
- **Capacitación y Desarrollo del Talento:**
 - Considerar la formación continua del equipo involucrado en la transferencia tecnológica para asegurar que se cuente con las habilidades necesarias en áreas como marketing tecnológico, negociación y gestión de proyectos.



5. Aspectos Especiales para el Contexto de la UNAM y CDMX

- **Recursos institucionales:**
 - Aprovechar las incubadoras y centros de transferencia tecnológica de la UNAM, que pueden ofrecer asesoría, infraestructura y financiamiento.
- **Red de Talento Local:**
 - Integrar a estudiantes y profesores en el proceso, tanto en el desarrollo tecnológico como en la implementación comercial.
- **Convenios Regionales:**
 - Conectar con entidades gubernamentales y empresas de la CDMX aceptadas en soluciones ambientales, lo que puede facilitar pilotos y validación de la tecnología en un entorno urbano.

Esta estrategia busca no solo transferir la tecnología al mercado, sino también fortalecer las conexiones entre la academia y la industria, adaptándola a los retos y oportunidades específicas del entorno académico y del mercado dinámico en la CDMX.

Referencias

- [1] Thompson, R., Olsen, Y., Mitchell, R., and Davis, A., 2004, “Lost at Sea: Where Is All the Plastic?,” *Science*, **304**(5672), p. 838. <https://doi.org/science.org/doi/10.1126/science.1094559>.
- [2] Zhao, K., Wei, Y., and Dong, J., 2022, “Separation and Characterization of Microplastic and Nanoplastic Particles in Marine Environment,” *Environmental Pollution*, **297**, p. 118773. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118773>.
- [3] Jingyi, L., 2018, “Microplastics in Freshwater Systems: A Review on Occurrence, Environmental Effects, and Methods for Microplastics Detection,” *Water Research*, **137**, pp. 362–374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>.
- [4] SEMARNAT, “Inventario Nacional de Fuentes de Contaminación Plástica.” [Online]. Available: <http://www.gob.mx/imta/articulos/contaminacion-por-microplasticos>. [Accessed: 16-Oct-2024].
- [5] Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., and Neff, R. A., 2018, “Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health,” *Curr Envir Health Rpt*, **5**(3), pp. 375–386. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>.
- [6] Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., and Dudas, S. E., 2019, “Human Consumption of Microplastics,” *Environ. Sci. Technol.*, **53**(12), pp. 7068–7074. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>.
- [7] Elsayed, A. A., Erfan, M., Sabry, Y. M., Dris, R., Gaspéri, J., Barbier, J.-S., Marty, F., Bouanis, F., Luo, S., Nguyen, B. T. T., Liu, A.-Q., Tassin, B., and Bourouina, T., 2021, “A Microfluidic Chip Enables Fast Analysis of Water Microplastics by Optical Spectroscopy,” *Sci Rep*, **11**(1), p. 10533. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89960-4>.
- [8] Zhang, M., Wang, X., Zhang, Y., and Fan, Y., 2023, “Integrated Sample Processing and Counting Microfluidic Device for Microplastics Analysis,” *Analytica Chimica Acta*, **1261**, p. 341237. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2023.341237>.
- [9] Sun, H., Ren, Y., Hou, L., Tao, Y., Liu, W., Jiang, T., and Jiang, H., 2019, “Continuous Particle Trapping, Switching, and Sorting Utilizing a Combination of Dielectrophoresis and Alternating Current Electrothermal Flow,” *Anal. Chem.*, **91**(9), pp. 5729–5738. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b05861>.
- [10] Gao, T., Zhao, K., Zhang, J., and Zhang, K., 2023, “DC-Dielectrophoretic Manipulation and Isolation of Microplastic Particle-Treated Microalgae Cells in Asymmetric-Orifice-Based Microfluidic Chip,” *Micromachines*, **14**(1), p. 229. <https://doi.org/10.3390/mi14010229>.
- [11] Norma Mexicana, 2013, *ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA*.



[12] Norma Mexicana, 2015, *ANÁLISIS DE AGUA - MEDICIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA*.

[13] Cámara de Diputados, 2023, “La Cámara de Diputados reformó la Ley General de Salud, para prohibir el uso de microplásticos en productos cosméticos.” [Online]. Available: <http://comunicacionsocial.diputados.gob.mx/index.php/boletines/la-camara-de-diputados-reformo-la-ley-general-de-salud-para-prohibir-el-uso-de-microplasticos-en-productos-cosmeticos>. [Accessed: 03-Jan-2025].

[14] Khoshmanesh, K., Nahavandi, S., Baratchi, S., Mitchell, A., and Kalantar-zadeh, K., 2011, “Dielectrophoretic Platforms for Bio-Microfluidic Systems,” *Biosensors and Bioelectronics*, **26**(5), pp. 1800–1814. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2010.09.022>.