



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



# Tecnológico Nacional de México Campus Querétaro

## **ROADMAP TECNOLÓGICO DE UN SISTEMA DE ELECTROHILADO PARA LA GENERACIÓN DE NANOFIBRAS**

Que para obtener el Grado de:

**MAESTRA EN INGENIERÍA**

presenta:

**ANA PAMELA OROZCO SÁNCHEZ**

Dirigida por:

Director: M.C. Margarita Prieto Uscanga

Codirector: Dr. José Antonio Velázquez Juárez

Asesor: Dra. Ana Laura Martínez Hernández

Mayo, 2023.

Santiago de Querétaro, Qro. **14/febrero/2023**  
OFICIO No. DEPI/021/2023

**OROZCO SÁNCHEZ ANA PAMELA  
ESTUDIANTE DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
PRESENTE**

De acuerdo con el Reglamento para Exámenes Profesionales de la Dirección General de Educación Superior Tecnológica, se le autoriza la impresión de la Tesis, para obtener el Grado de MAESTRÍA EN INGENIERÍA, titulada:

**"ROADMAP TECNOLÓGICO DE UN SISTEMA DE ELECTROHILADO PARA LA GENERACIÓN DE NANOFIBRAS"**

Para el correspondiente Examen de Grado.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica.  
"la tierra será como sean los hombres"*



**GABRIELA PINEDA CHACÓN  
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



c.c. Coordinación de Posgrado  
Archivo

Jany\*



Av. Tecnológico s/n esq. Mariano Escobedo, Col. Centro, C.P.76000, Querétaro, Querétaro.  
Plantel Centro tel. 01(442) 2274400 ext. 4421 y Plantel Norte tel. 01(442) 2435554  
e-mail: depin@queretaro.tecnm.mx | tecnm.mx | queretaro.tecnm.mx



**2023  
Francisco  
VILLA**



Querétaro, Qro. **07/diciembre/2022**  
OFICIO No. DEPIN/309/2022  
ASUNTO: CONSTANCIA DE NO PLAGIO

**A QUIEN CORRESPONDA:**

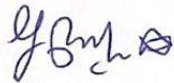
Por medio de la presente se hace constar que el trabajo de tesis con título: "**ROADMAP TECNOLÓGICO DE UN SISTEMA DE ELECTROHILADO PARA LA GENERACIÓN DE NANOFIBRAS**"; ha sido revisado por medio de la herramienta de software TURNITIN, cuyo resultado se anexa a la presente y **no se ha encontrado evidencias de plagio en su realización**. El autor de dicho trabajo, estudiante de **Maestría en Ingeniería, ANA PAMELA OROZCO SÁNCHEZ**, es el responsable de la autenticidad y originalidad del mismo y manifiesta que para su desarrollo ha utilizado diversas citas para su soporte, mismas que han sido marcadas a lo largo del mismo y listadas al final como REFERENCIAS bibliográficas.

Se extiende la presente para la continuación del proceso de obtención del grado de Maestría en Ingeniería, y a petición del interesado.

Sin más por el momento, agradezco su disposición y valioso apoyo.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica  
La tierra será, como sean los hombres*



**GABRIELA PINEDA CHACÓN**

**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



ccp. Archivo

Jany\*



Av. Tecnológico s/n esq. Mariano Escobedo, Col. Centro, C.P.76000, Querétaro, Querétaro.

Plantel Centro tel. 01(442) 2274400 ext. 4421 y Plantel Norte tel. 01(442) 2435554

e-mail: [depin@queretaro.tecnm.mx](mailto:depin@queretaro.tecnm.mx)



**2022** Ricardo Flores Magón  
Año de Magón  
PRESENCIA EN LA REVOLUCIÓN MEXICANA

Santiago de Querétaro, Qro., 03 de mayo, 2023.

La que suscribe, egresada de **Maestría en Ingeniería**; de manera libre y voluntaria autorizo al Centro de Información del Tecnológico Nacional de México Campus Querétaro a difundir la obra de mi autoría con el Título del trabajo **Roadmap tecnológico de un sistema de electrohilado para la generación de nanofibras**. Para fines académicos, científicos y tecnológicos, mediante formato CD-ROM o digital, desde Internet, Intranet y en general cualquier formato conocido o por conocer.

Dicha obra estará disponible al estudiantado de esta Institución a partir del mes de **marzo**, fecha en la cual se puede difundir la obra.

**Postulante:** Ana Pamela Orozco Sánchez

**No. de Control:** M20141292      **Correo electrónico:** pamela\_sasy@hotmail.com

**Título de la obra:** Roadmap tecnológico de un sistema de electrohilado para la generación de nanofibras.

**Área del conocimiento:** Gestión Tecnológica

**Palabras clave de la obra:** Electrohilado, nanofibras, hoja de ruta, ingeniería de tejidos, gestión tecnológica.



---

**Ana Pamela Orozco Sánchez**

## Contenido

Índice de Figuras.....	iii
Índice de Tablas.....	iv
Acrónimos.....	v
Agradecimientos.....	vi
Dedicatorias.....	vii
Resumen.....	viii
Palabras clave.....	viii
Abstract.....	ix
Keywords.....	ix
Capítulo 1 Introducción.....	1
1.1 Objetivo General.....	3
1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Metas.....	3
1.4 Justificación.....	4
Capítulo 2 Marco teórico.....	7
2.1 Nanomateriales.....	8
2.1.1 Nanofibras.....	10
2.1.2 Electrohilado.....	14
2.2 Gestión Tecnológica.....	17
2.2.1 Vigilancia Tecnológica.....	20
2.2.2 Mapeo Tecnológico.....	21
2.2.3 Ciclo de vida de la tecnología.....	24
2.2.4 Prospectiva Tecnológica.....	25
2.2.5 Planeación Tecnológica.....	28
2.2.6 Hoja de Ruta Tecnológica.....	31
Capítulo 3 Metodología.....	33
3.1 Etapa 1: Mapeo y Vigilancia Tecnológica.....	34
3.2 Etapa 2: Análisis de la tecnología disponible.....	38
3.3 Etapa 3: Estrategias para la Gestión Tecnológica.....	38
Capítulo 4 Resultados.....	39
4.1 Etapa 1: Mapeo y Vigilancia Tecnológica.....	39

4.1.1	Análisis de textos científicos .....	39
4.1.2	Análisis de patentes.....	49
4.1.3	Productos identificados.....	51
4.2	Etapa 2: Análisis de la tecnología disponible .....	54
4.3	Etapa 3: Estrategias para la Gestión Tecnológica .....	61
4.3.1	Plan tecnológico .....	63
4.3.2	Hoja de ruta tecnológica .....	65
Capítulo 5	Conclusiones .....	71
Referencias bibliográficas	.....	73

## Índice de Figuras

Figura 1 Sistema básico de electrohilado.....	14
Figura 2 Aportaciones de los investigadores de la línea de Materiales y Nanotecnología de la Maestría en Ingeniería del Instituto Tecnológico de Querétaro. ....	17
Figura 3 Arquitecturas más comunes de las redes neuronales.....	24
Figura 4 El ciclo de vida de la tecnología.....	25
Figura 5 Esquema general de un árbol de decisión.....	27
Figura 6 Modelo de Planeación tecnológica por criterio de competitividad.....	29
Figura 7 Etapas de la planeación tecnológica.....	29
Figura 8 Ejemplos de estructuras de planes tecnológicos.....	30
Figura 9 Estructura general de una hoja de ruta tecnológica.....	32
Figura 10 Diseño general de la metodología a utilizar.....	33
Figura 11 Publicaciones referentes a electrohilado por año.....	36
Figura 12 Patentes de electrohilado publicadas por año.....	37
Figura 13 Metodología utilizada.....	39
Figura 14 Gráfica de pares multivariante de los datos de entrada.....	41
Figura 15 Malla de neuronas del mapa autoorganizado.....	42
Figura 16 Agrupamiento y clasificación de la información mediante el mapa autoorganizado.....	44
Figura 17 Países con mayor número de publicaciones.....	46
Figura 18 Temas más citados.....	47
Figura 19 Áreas de aplicación predominantes.....	48
Figura 20 Productos identificados según su área de aplicación.....	51
Figura 21 Patentes de electrohilado del subgrupo A61 publicadas por año.....	54
Figura 22 Árbol de decisión de regeneración de tejido.....	55
Figura 23 Árbol de decisión de tratamiento de heridas.....	56
Figura 24 Árbol de decisión de propiedades antibacterianas.....	57
Figura 25 Publicaciones de las combinaciones de polímeros por año.....	58
Figura 26 Modelos de regresión para cada una de las combinaciones de nanofibras electrohiladas.....	59
Figura 27 Proyecciones de publicaciones a 2030.....	60
Figura 28 Etapa actual del ciclo de vida de la tecnología de electrohilado.....	61
Figura 29 Población geriátrica estimada para 2030.....	62
Figura 30 Estructura propuesta de plan tecnológico.....	63
Figura 31 Hoja de ruta tecnológica.....	70

## Índice de Tablas

Tabla 1 Valores utilizados para el cálculo de tamaños de muestra.....	40
Tabla 2 Las 10 revistas con factor de impacto más alto.....	46
Tabla 3 Las 10 revistas con mayor número de artículos. ....	47
Tabla 4 Número de patentes identificadas por grupo.....	49
Tabla 5 Los 10 subgrupos con mayor número de patentes .....	49
Tabla 6 Registros de patentes de instituciones educativas mexicanas .....	50
Tabla 7 Principales aplicaciones y atributos de nanofibras patentadas .....	51
Tabla 8 Productos para filtración de aire.....	52
Tabla 9 Productos para filtración de agua, mascarillas y otros .....	52
Tabla 10 Productos para usos en biomedicina, ingeniería de tejidos y cultivos celulares.....	53
Tabla 11 Coeficientes obtenidos para el modelo de regresión.....	60



## **Acrónimos**

CART - Classification And Regression Trees.

CIMAV Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados.

CIP - Clasificación Internacional de Patentes.

CNT – Nanotubos de Carbono

CONACYT - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Guerra NBC - Guerra Nuclear, Biológica y Química.

I+D - Investigación y Desarrollo.

MD – Maltodextrina

NM - Nanomateriales.

NP - Nanopartículas.

PCL - Policaprolactona.

PEO – Óxido de polietileno.

PGA – Poli (Ácido Glicólico)

PLA - Ácido Poliláctico.

PLGA - Ácido Poli (Láctico-co-Glicólico)

PS - Poliestireno.

PU - Poliuretano.

PVA - Acetato de Polivinilo.

PVP – Polivinilpirrolidona

SNI - Sistema Nacional de Investigadores.

TiO<sub>2</sub> – Dióxido de Titanio.

TRM - Technology Roadmap

## **Agradecimientos**

Al Tecnológico Nacional de México campus Querétaro, por haberme brindado la oportunidad de continuar profesionalizándome a través de su programa de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo recibido para poder realizar mis estudios dentro del Programa Nacional de Posgrados de Calidad.

Al Mtro. Rogelio Noriega Vargas, por su motivación a seguir preparándome y brindarme su apoyo incondicional para continuar mi formación profesional y poder compaginar mis estudios con la vida laboral.

Al profesorado del programa de Maestría en Ingeniería, por compartir sus conocimientos, experiencias y motivarme a seguir realizando actividades de investigación.

## **Dedicatorias**

Este trabajo se lo dedico a mi esposo Jonathan, por acompañarme a lo largo de estos dos años y brindarme su apoyo incondicional, por motivarme a seguir superándome y no desistir, por adoptar este proyecto como suyo y recordarme lo importante que es el alcanzar esta meta para mi desarrollo profesional y satisfacción personal.

Por iniciar un proyecto de vida juntos y darme la dicha más grande del mundo, Jonathan no tengo palabras para expresarte lo valioso que ha sido el que coincidieran nuevamente nuestros caminos y se volvieran uno solo...por darme la dicha de ser madre.

A mi hijo, Noah...

## **Resumen**

El presente trabajo muestra el desarrollo de un estudio exploratorio para poder conformar una hoja de ruta tecnológica referente a un sistema de electrohilado para producir nanofibras funcionales, donde se toma en consideración aspectos del mercado global, productos, tecnología e intereses científicos y tecnológicos. Para hacerlo posible se desarrollaron tres etapas que consideran procesos de mapeo y vigilancia tecnológica, análisis de la tecnología disponible y el desarrollo de estrategias para gestionar tecnología, donde fue posible realizar un análisis de textos científicos y patentes, así como el ciclo de vida de la tecnología y un estudio de prospectiva, los cuales sentaron las bases de un plan tecnológico, donde se definió un nicho de mercado y producto a ofertarle, tomando en consideración los materiales que se perfilan como los principales a utilizarse a largo plazo, las propiedades que habrán de exhibir y los principales consumidores. Toda esta información será de utilidad para futuras investigaciones que se centren en el estudio de la ingeniería de tejidos y el tratamiento de heridas por medio de nanofibras.

## **Palabras clave**

Electrohilado, nanofibras, hoja de ruta, ingeniería de tejidos, gestión tecnológica.

**Abstract**

The present work shows the development of an exploratory study to be able to form a technological roadmap regarding an electrospinning system to produce functional nanofibers, where aspects of the global market, products, technology and scientific and technological interests are taken into consideration. To make it possible, three stages were developed that consider processes of mapping and technological surveillance, analysis of available technology and the development of strategies to manage technology, where it was possible to carry out an analysis of scientific texts and patents, as well as the life cycle of the technology. technology and a prospective study, which laid the foundations for a technological plan, where a market niche and product to be offered were defined, taking into account the materials that are emerging as the main ones to be used in the long term, the properties that will be to exhibit and the main consumers. All this information will be useful for future research that focuses on the study of tissue engineering and wound treatment by means of nanofibers.

**Keywords**

Electrospinning, nanofibers, roadmap, tissue engineering, technology management.

## Capítulo 1 Introducción

En presente capítulo tiene como objetivo contextualizar la investigación a realizar, por ello en él se plantea el problema desde un panorama en general de los beneficios que ofrece la nanofabricación y de forma particular las nanofibras electrohiladas, para poder evidenciar que el electrohilado a pesar de ser una técnica prometedora aún tiene áreas de oportunidad, a su vez aspectos técnicos por mejorar y cada día surgen nuevos campos de aplicación, lo que hace que se desconozca en los próximos años cuáles serán los beneficios que obtenga la sociedad donde se ya consideren este tipo de tecnologías, es por ello que la propuesta que se hace para dar respuesta a esta interrogante se basa en una herramienta de planificación de proyectos, cuyo punto de vista es el de la investigación, innovación y desarrollo, dado que la propuesta está orientada a un grupo de investigadores en particular pero se desea que los intereses de los involucrados puedan alinearse con las tendencias del mercado, se establecen dentro de los objetivos y metas la identificación de necesidades, productos y tendencias para contribuir con una planificación de mediano y largo plazo.

La nanofabricación es el futuro de la tecnología y pronto estará a la vanguardia de todas las tecnologías de fabricación al proporcionar el diseño y la producción de nanomateriales funcionales, que son potencialmente capaces de responder a los principales desafíos mundiales del presente y futuro (Ding et al., 2019). Un ejemplo de esto son las nanofibras, por la baja densidad y el elevado volumen de poros, estos materiales resultan apropiados para un sinnúmero de aplicaciones que abarcan los dispositivos biomédicos, productos de consumo, hasta productos industriales (Caracciolo et al., 2011).

Una técnica de nanofabricación es el electrohilado, proceso muy usado para la preparación de fibras poliméricas de diámetro entre 2 nm y varias micras a partir de un polímero en disolución. El interés en esta técnica ha ido creciendo en la última década principalmente por el control que se puede tener sobre la estructura y el tamaño de las fibras, (García, 2013). Esta forma de fabricación hace posible adaptar estructuras de fibra individuales y también permite regular la morfología de las esteras fibrosas resultantes, la técnica se caracteriza por ser lo suficientemente versátil como para procesar todo tipo de materiales, incluidos los polímeros orgánicos e inorgánicos, en diversas formas como soluciones, emulsiones, mezclas o masas fundidas, para generar estructuras nanofibrosas complejas, porosas, huecas, etc. (Ding et al., 2019).



También destaca por ser un método económico, en el cual varios de sus factores influyen en las características que han de adoptar las fibras, como el material base, los parámetros del proceso y las condiciones ambientales, lo que ha dificultado la definición de los rangos exactos en que las variables promueven un mejor desempeño (Duque et al., 2013). Por lo tanto, la técnica aún requiere de mejoras y esfuerzos adicionales, así como un escalamiento para el proceso de fabricación que permita mejorar la formulación de nanofibras, su funcionalidad y aplicación en nuevas áreas. Aunque la técnica resulte prometedora, Palit y Hussain (2020) hacen mención que los esfuerzos para el uso y comercialización de productos con nanofibras electrohiladas implican reducir inconvenientes ocasionados por los materiales empleados. Lo que conlleva a la adopción de tecnología sostenible y respetuosa con el medio ambiente, también a procesos de investigación que permitan llegar a una etapa de comercialización, el tomar en cuenta aspectos de tipo económico y ecológico, de igual manera la minimización de riesgos potenciales e impactos negativos para los seres humanos y el medio ambiente (Chaudhery, 2020).

Todo esto genera una serie de dudas acerca del rumbo que tomará la técnica y las investigaciones que se requieren para lograr productos funcionales, como: ¿Cuáles son las necesidades de la sociedad que pueden atenderse en los próximos años con el uso de esta técnica? ¿Qué industrias son las que tienen más avances y posibilidades de comercializar, en un futuro cercano, productos cuyos componentes sean nanofibras electrohiladas? ¿Qué estrategias deben adoptar los grupos de investigación interesados para hacer frente a las tendencias de fabricación de nanofibras funcionales?

En el caso concreto del Instituto Tecnológico de Querétaro, existen investigadores de la línea de Materiales y Nanotecnología de la Maestría en Ingeniería, interesados en explotar las ventajas que ofrece el electrohilado, siendo su principal inquietud hacia dónde encaminar sus esfuerzos para aprovechar la tecnología que tienen a su disposición. Resulta necesario contar con una visión prospectiva y herramientas de planeación que consideren en sus procesos la innovación y desarrollo, razón por la que elaborar una hoja de ruta tecnológica se convierte en una alternativa atractiva.

Una hoja de ruta (en inglés *Roadmap*) es una herramienta de planificación de proyectos a mediano y largo plazo, de gran utilidad, que comprende múltiples aspectos para tener en cuenta en la prospectiva de innovación de las organizaciones y su desarrollo de un periodo

determinado (Rodríguez y Lloveras, 2010). Además, tiene un enfoque de mercado, del cómo explotarlo con el desarrollo de negocios, productos y servicios, que a su vez se traducen en requisitos, capacidades, necesidades de investigación, innovación y desarrollo, es decir, facilita un diálogo estructurado entre niveles operativos, técnicos y estratégicos, en consecuencia ayuda a priorizar y asignar recursos con relación a los planes y visiones futuras (Miles et al., 2016).

Con las ventajas que ofrece esta alternativa, la interrogante que surge es: ¿elaborar una hoja de ruta para un sistema de electrohilado permitirá contar con opciones para producir nanofibras funcionales?

### **1.1 Objetivo General**

Diseñar una hoja de ruta tecnológica orientada al uso que tendrán las nanofibras a mediano y largo plazo, así como estrategias para procesos de innovación y desarrollo de un sistema de electrohilado.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Desarrollar un mapeo tecnológico que apoye en la identificación de grupos que realizan investigación sobre electrohilado.

Realizar un proceso de vigilancia tecnológica para la identificación de sistemas de electrohilado que se emplean en fibras funcionales o productos ya comercializados.

Llevar a cabo un análisis prospectivo que permita sentar las bases para un proceso de planeación de tecnología.

Diseñar un plan tecnológico a mediano y largo plazo para la innovación y desarrollo de un sistema de electrohilado.

### **1.3 Metas**

Mediante el desarrollo de un plan tecnológico proponer estrategias a emplear para encaminar los esfuerzos de los investigadores de la línea de Materiales y Nanotecnología de la Maestría en Ingeniería a una aplicación o uso específico de nanofibras, lo anterior se conseguirá diseñando una hoja de ruta para un sistema de electrohilado. De este modo es posible sentar

las bases para que el grupo se encuentre en vías de planificar y desarrollar tecnología que le permita ofrecer a un nicho específico de mercado una solución vanguardista.

Identificar fibras electrohiladas funcionales o productos ya comercializados con estos componentes, además, si cuentan con registros de propiedad intelectual, con la finalidad de verificar si los avances que existen hasta el momento están beneficiando a la población mexicana.

#### **1.4 Justificación**

Los productos con un fuerte componente tecnológico son altamente demandados y apreciados, por lo que las empresas que buscan desarrollar la competitividad requieren incorporar tecnología moderna e impulsar la innovación, Núñez (2011), sostiene que la competencia actual es por la calidad y el desarrollo tecnológico, para lo cual las empresas se dirigen a optimizar sus modelos de gestión y adquirir o desarrollar tecnología. Los bienes y servicios que se generan deben satisfacer un conjunto de necesidades en una población que es cada vez más exigente y numerosa. La definición de estrategias es fundamental para lograr el objetivo de desempeñar una labor en favor del crecimiento y el desarrollo.

La empresa Research and Markets (2021) dedicada a la investigación de mercados, estima que el mercado global de nanofibras en el 2020 era de 920.48 millones de dólares y en un pronóstico global a 2025 estima un crecimiento a 2,934.68 millones. Por otra parte, Mordor Intelligence (2021), también se enfoca en estudio de mercados y afirma que una de las características principales del mercado de nanofibras es que se encuentra parcialmente fragmentado, es decir, que puede llegar a tener numerosos jugadores pero que estos tienen una participación insignificante como para lograr afectar la dinámica del mercado de manera individual. Por lo tanto, para obtener ventajas significativas frente a los competidores resulta importante atender necesidades de consumo específicas, mediante productos o servicios que se diferencien (Waleska et al., 2004), debido a que en las primeras etapas de la evolución de los mercados las necesidades de los clientes están generalmente menos divididas que en etapas posteriores, esto hace que las empresas puedan aprovechar y volverse atractivas por brindar alguna solución especializada (Best, 2007).

Dentro de los pronósticos de Research and Markets (2021), se tiene considerado que el mercado de nanofibras registre una tasa compuesta anual de alrededor del 25% durante el

período 2021 – 2026, tomando en consideración las crecientes demandas en tecnología de filtración, aplicaciones médicas, ciencias biológicas, farmacéuticas, industria automotriz y aeroespacial, así como usos emergentes de nanofibras en el sector textil. Es así que el adoptar nuevas tecnologías para la fabricación de productos, -como es el caso de las nanofibras a través de electrohilado- implica un proceso de gestión de tecnología, Sumanth y Sumanth (citado por Navarro, et al., 2006) lo definen como *“el proceso mediante el cual una organización se percata de la existencia de una tecnología, la adquiere, la adapta a sus necesidades, obtiene avances en la misma y la abandona para procurar otra que mejor satisfaga sus necesidades y así incrementar o mantener su productividad”*. Para Solleiro y Castañón (2016) la gestión tecnológica *“es una herramienta para aprovechar los recursos, por medio de la elaboración de planes, considerando la situación presente y la posición que desea tener a futuro, valiéndose de las fuerzas internas de creatividad o el uso de transferencias tecnológicas”*.

Pero el satisfacer la demanda del mercado, implica una necesidad de ampliar la producción de nanofibras electrohiladas, lo cual se puede conseguir con el desarrollo o implementación de nuevas técnicas, a su vez, el escalar la tecnología del laboratorio a una producción industrial conlleva una serie de dificultades, como: producción de gran volumen, precisión en el control de los productos, aumento de la diversidad y funcionalidad de las nanofibras, y el cuidado del medio ambiente (Persano et al., 2013).

Otro aspecto relevante a considerar es cuáles son los segmentos del mercado que ya están siendo atendidos y a qué zonas geográficas pertenecen, y si en el grupo de competidores actualmente existen productos dirigidos al mercado nacional (México), además de cuál es el comportamiento que se observa en la satisfacción de necesidades en otros continentes, observando a los países y empresas que se perfilan como dominantes (quiénes han logrado beneficiarse).

Los investigadores de la línea de Materiales y Nanotecnología de la Maestría en Ingeniería del Instituto Tecnológico de Querétaro cuentan con un sistema de electrohilado, con el cual esperan proponer usos innovadores para productos que podrían tener como base nanofibras electrohiladas, pero con una gama tan amplia de posibilidades es necesario identificar dónde existe una mayor posibilidad de incursionar en el mercado, acorde con las tendencias, así como definir el rumbo que habrá de tener la técnica, lo que convierte al *roadmap* en la mejor

opción, porque permitirá establecer estrategias en materia de avances tecnológicos, a través del análisis de los cambios que se requieren en una industria en particular, la adquisición de habilidades, uso de nuevas tecnologías y el momento en que estas deban ser implementadas, ya que a pesar de los múltiples usos y aplicaciones que se le pueden dar a las nanofibras, no todas las alternativas están en las mismas posibilidades de formar parte de un proceso de producción en estos momentos.

## Capítulo 2 Marco teórico

Con la finalidad de comprender cómo es que se desarrollará el proyecto, a continuación se exponen los conceptos básicos relacionados con la técnica del electrohilado, así como las herramientas relacionadas con la administración de la tecnología, considerando desde el análisis de información que permitirá identificar el estado actual y tendencias, entre otras empleadas para actividades propias de estrategias futuras según usos y aplicaciones.

Al inicio se parte de una definición de los nanomateriales, su clasificación acorde a las dimensiones y las ventajas que poseen con respecto a materiales convencionales, continuando la temática con un grupo en particular: las nanofibras, explicando sus características y opciones de fabricación, dentro de estas se menciona que una de las alternativas de elaboración es el electrohilado, seguido a esto, la técnica se explica junto con la configuración de sus componentes y parámetros involucrados en las características que adoptan las nanofibras.

Una vez que se ha explicado la importancia que tiene la técnica, se toma en cuenta la relevancia que tiene la creación de conocimientos en las organizaciones por medio de la gestión tecnológica, la cual toma en consideración los comportamientos del mercado, los competidores y sus tendencias, valiéndose de herramientas como el mapeo tecnológico y la vigilancia tecnológica.

Para continuar, es importante resaltar qué uso se le dará a la información que han obtenido las organizaciones, tomando en cuenta las tendencias del mercado y necesidades de la sociedad, también la relación que guardan con factores que no controlan las empresas, es por ello que se presenta el concepto de prospectiva tecnológica y las técnicas de las cuales se vale para perfilar un panorama futuro.

Finalmente, se describe el *roadmap* y su importancia, la relación que guarda con los objetivos a perseguir y los escenarios posibles en un determinado tiempo, es decir, cómo es que lo utilizan las organizaciones para generar estrategias acordes a los cambios.



## 2.1 Nanomateriales

En la actualidad es normal escuchar términos como nanomateriales, nanociencia y nanotecnología, estas palabras se han vuelto comunes no solo en áreas de investigación sino también en la vida cotidiana. En los últimos años, la investigación de los nanomateriales (NM) ha generado gran interés por parte de científicos e ingenieros de todo el mundo, este término generalmente se utiliza para referirse a materiales con dimensiones externas o una estructura interna, medidos en nanoescala (Sudha et al., 2018).

Un nanomaterial se caracteriza con frecuencia por una dimensión asociada a las nanopartículas que componen el material, su tamaño oscila dentro de 1 y 100 nanómetros (una milmillonésima parte de un metro) en al menos una de sus dimensiones., y generalmente son clasificados tomando en cuenta la morfología, composición, uniformidad y aglomeración (Goyal, 2017).

Según las dimensiones de las nanopartículas, Pokropivny y Skorokhod (2007) clasificaron los NM en 0 dimensiones (0D), unidimensionales (1D), bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D):

- Las nanopartículas de dimensión cero (0D) incluyen grupos atómicos, filamentos y conjuntos de grupos. Estos materiales tienen todas las características o dimensiones inferiores a 100 nm, su longitud es igual a la anchura. Generalmente, los 0D-NP pueden ser: amorfos o cristalinos, monocristalinos o policristalinos, elementos simples o multicristalinos, y exhiben diversas formas y figuras.
- Los nanomateriales unidimensionales (1D) son típicamente nanobarras, nanocables, nanotubos y nanofibras. Normalmente, dos de sus dimensiones están en nanómetros, su longitud es mayor que el ancho. Los electrones están confinados en dos dimensiones y, por lo tanto, los electrones no pueden moverse libremente en este sistema. Al igual que los 0D-NP, las nanoestructuras 1D pueden ser amorfas o cristalinas, simples o policristalinas, metálicas, cerámicas o poliméricas.
- Los nanomateriales bidimensionales (2D) incluyen nanoláminas, nanopelículas y nanocintas (superposiciones de grano ultrafino o capas enterradas). Las partículas libres con una relación de aspecto grande, con dimensiones en el rango de nanoescala, también se consideran NM 2D. En este sistema, los electrones están confinados dentro de una dimensión, lo que indica que los electrones no pueden moverse libremente dentro de la dimensión asociada. Similar a las nanoestructuras 0D y 1D, los NM 2D

también puede ser amorfos o cristalinos, y están compuestos de matrices metálicas, cerámicas o poliméricas.

- Los NM tridimensionales (3D) incluyen materiales nanofásicos que consisten en granos de tamaño nanométrico atexturado. Los NM 3D tienen tres dimensiones arbitrarias más allá de los 100 nm. En estructuras 3D, los electrones están completamente deslocalizados, lo que indica que todos los electrones se moverán libremente en todas las dimensiones.

Otra forma de clasificar a los NM es de acuerdo a su componente principal, la Agencia del Medioambiente de los Estados Unidos, (Environmental Protection Agency, 2016) ha establecido cuatro tipos principales: basados en carbono, basados en metales, dendrímeros y compuestos:

- Basados en Carbono: están compuestos mayoritariamente por carbono y suelen adoptar formas de esferas huecas, elipsoides o tubos. Los alótropos del carbono incluyen carbono amorfo, grafito y diamante. Los NM de carbono esféricos y elipsoidales se denominan fullerenos, mientras que los cilíndricos se denominan nanotubos de carbono. Los NM basados en carbono incluyen fullereno, CNT, nanodiamante y grafeno. Debido a sus excelentes propiedades únicas, el fullereno se ha convertido en la actualidad en un tema clave en la nanotecnología y la investigación industrial.
- Basado en metales: incluyen puntos cuánticos, nanopartículas metálicas y óxidos metálicos, exhiben propiedades ópticas y electrónicas interesantes a medida que su tamaño se acerca a la nanoescala. Los NM de óxidos metálicos han recibido una mayor atención como agente de contraste. Los puntos cuánticos poseen propiedades únicas, como brillo superior, fotoestabilidad extraordinaria y capacidad multicolor bajo excitación de una sola fuente. Estos puntos cuánticos semiconductores ofrecen una alternativa viable a las partículas marcadas con fluorescencia.
- Dendrímeros: polímeros de tamaño nanométrico con numerosos extremos de cadena, estos NM son construidos a partir de unidades ramificadas, sus nanopartículas tienen alta integridad estructural, estabilidad y liberación controlada. La superficie de un dendrímero tiene numerosos extremos de cadena, que se pueden adaptar para realizar funciones químicas específicas y esta propiedad hace que se utilicen como catalisis. Los dendrímeros 3D contienen cavidades interiores en las que podrían colocarse otras moléculas y utilizarse con éxito para la administración de fármacos.

- **Compuestos:** mezclan las nanopartículas con otras nanopartículas o con materiales de mayor tamaño en un esfuerzo por combinar las mejores propiedades de ambos. La idea detrás de los nanocompuestos es utilizar nanopartículas o nanoestructuras como bloques de construcción dentro de una matriz de alojamiento para crear nuevos materiales con una flexibilidad y mejora sin precedentes en sus propiedades mecánicas, físicas, químicas o biológicas.

Los métodos para obtener NM generalmente son diferentes a los de otros materiales más simples, pero al aplicarlos además de cambiar las dimensiones también se aprecian cambios en las propiedades químicas y físicas, dentro de estas se pueden apreciar mejoras en las propiedades eléctricas, ópticas y magnéticas de los materiales utilizados. Los NM pueden ser diseñados según las necesidades o propiedades que requieran determinados productos, aumentando su eficiencia y disminuyendo el costo, es así como hoy en día ha sido posible desarrollar una variedad de materiales y dispositivos muy superiores en términos de rendimiento y durabilidad, en comparación con aquellos que son producidos de manera convencional (Tahir et al., 2020). Los NM se están comercializando lentamente, comenzando a emerger como productos básicos y productos tecnológicos innovadores, esto incluye una amplia gama de productos de consumo. A su vez, manifiestan diferentes características físicas, químicas y biológicas, que pueden aprovecharse para aplicaciones específicas (Sudha et al., 2018)

Hablando específicamente del caso de México, el Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados (CIMAV) llevó a cabo un diagnóstico de la nanotecnología donde da a conocer que los NM que utilizaban las empresas en sus procesos productivos eran importados (CIMAV, 2008). Esta condición ha ido cambiando, en la actualidad existen empresas que desarrollan nanotecnología, tan solo hasta 2012 fueron identificadas 101 empresas, de las cuales la mayoría se concentran en Nuevo León, Ciudad de México y Estado de México, (Záyago et al., 2013). Es así que los NM creados en México también son utilizados por empresas como Lamosa, Owens Corning, Nemak, Vitro, entre otras (Cervantes et al., 2017)

### **2.1.1 Nanofibras**

Hablando específicamente de materiales de una dimensión (1D), existe una gran variedad, como: alambres, correas, varillas, tubos, espirales y fibras, los cuales destacan por su alta relación de largo a ancho y gran área de superficie, y la posibilidad de producirse empleando

diversas técnicas de fabricación que ya son comerciales, como: síntesis de plantillas, dibujo, separación de fases, autoensamblaje, hilado manual y técnicas de electrohidrodinámica. (Ding et al., 2019).

Las nanofibras forman parte del grupo de los nanomateriales unidimensionales e igualmente se les denomina fibras superfinas o ultrafinas, estas pueden estar hechas a base de polímeros, carbono, vidrio o cerámica. Dentro de sus características más destacables se encuentra la resistencia, la cual aumenta conforme disminuye su diámetro, debido a las mejoras que presentan en su microestructura y orientación, así como a la reducción del tamaño y concentración de defectos. Este hecho hace que los fabricantes tiendan a preferir fibras con diámetros más pequeños, con el empleo de técnicas que son económicas (Ding et al., 2019).

Particularmente, las esteras de nanofibras producidas a partir del electrohilado tienen una estructura porosa que se forma de manera natural, con una excelente interconectividad de poros. La estructura de poros abiertos y la alta permeabilidad al gas, junto con la gran superficie, las convierten en membranas porosas ideales. En comparación con otras nanoestructuras unidimensionales (como los nanotubos o nanobarras), las nanofibras poseen una ventaja hablando en términos de costos de fabricación, así como la posibilidad de incorporarlas en otros procesos de ensamblaje en un solo paso (Lin y Wang, 2013).

Se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones, como estructuras, nanogeneradores, telas protectoras para uso militar, filtración, ingeniería de tejidos, membranas de pilas de combustible, sistemas catalíticos y sensores (Goyal, 2017). De manera particular, para las nanofibras poliméricas utilizadas en nanocompuestos, Huang et al., (2003), hacen una revisión y explican el porqué de su uso en nanofiltros, aplicaciones biomédicas, tejidos protectores para uso militar y sensores funcionales:

**Nanofiltros:** Las nanofibras utilizadas para los medios filtrantes proporcionan alta eficiencia de filtración y baja resistencia al aire. El tamaño de los canales o poros de un filtro debe coincidir con la escala de las partículas o gotitas que se eliminarán en el filtro. Debido a la alta área de superficie específica y la alta cohesión de la superficie asociada, partículas diminutas menores a 0,5  $\mu\text{m}$  o gotitas de aceite tan pequeñas como 0,3  $\mu\text{m}$  pueden ser atrapadas fácilmente de manera eficiente en los filtros hechos de nanofibras electrohiladas.

**Aplicación biomédica:** Los tejidos y órganos humanos, incluidos los huesos, la dentina, el colágeno, el cartílago y la piel, se caracterizan por estructuras nanofibrosas jerárquicas bien organizadas. Debido a propiedades únicas como alta área de superficie específica, tamaño de poro pequeño, alta porosidad, flexibilidad, resistencia, etc., las esteras de nanofibras poliméricas encuentran sus aplicaciones prometedoras en varias áreas biomédicas, incluidas prótesis médicas, plantillas de tejidos, apósitos para heridas y cosméticos.

- **Prótesis médicas:** se han sugerido nanofibras poliméricas electrohiladas para una serie de aplicaciones de prótesis de tejidos blandos, como vasos sanguíneos, vasculares, mamarios, etc. Estas nanofibras biocompatibles electrohiladas también se pueden depositar como una película fina porosa en un dispositivo protésico de tejido duro y luego implantarse en el cuerpo humano. Esta película porosa actúa como una interfase entre el dispositivo protésico y los tejidos del huésped. Reduce el desajuste de rigidez en la interfase tejido / dispositivo y, por lo tanto, evita el fallo del dispositivo después de la implantación.
- **Plantilla de tejido:** para el tratamiento de tejidos u órganos debido a un mal funcionamiento en un cuerpo humano, uno de los desafíos para el campo de la ingeniería de tejidos es el diseño de andamios ideales que puedan imitar la estructura y las funciones biológicas. La ingeniería de tejidos está involucrada en la creación de andamios 3-D reproducibles y biocompatibles para el crecimiento celular, lo que da como resultado compuestos para diversos procedimientos de reparación y reemplazo de tejidos. Los andamios compuestos por biopolímeros sintéticos y / o nanofibras poliméricas biodegradables pueden imitar estructuras nativas.
- **Vendaje para heridas:** las nanofibras poliméricas se pueden utilizar para el tratamiento de heridas o quemaduras de la piel humana. Las fibras finas de polímeros biodegradables se pueden rociar o hilar directamente sobre la zona lesionada de la piel para formar un apósito de estera fibrosa. Esto puede permitir que las heridas se curen fomentando la formación de piel normal y su crecimiento, eliminando así el tejido cicatricial que se encuentra en un tratamiento tradicional. Las esteras de membranas nanofibrosas no tejidas para vendajes de heridas suelen tener tamaños de poro que oscilan entre 500 nm y 1  $\mu\text{m}$ , lo suficientemente pequeños como para proteger la herida de la penetración bacteriana mediante mecanismos de captura de partículas de aerosol. Las nanopartículas de plata (NP Ag) muestran actividad antibacteriana hacia los gérmenes en contacto sin liberación de biocidas tóxicos y, por lo tanto,

las NP Ag se consideran no tóxicos y respetuosos con el medio ambiente en aplicaciones biomédicas. Por lo tanto, las nanofibras de polímeros se han aplicado para quemaduras infectadas, heridas purulentas y como matriz de cicatrización de heridas.

- **Cosméticos:** la mascarilla cosmética para la piel hecha de nanofibras electrohiladas se puede aplicar con suavidad y sin dolor, así como directamente sobre la topografía tridimensional de la piel para proporcionar un tratamiento curativo o de cuidado de la piel.

**Tejido protector para militares:** El ejército necesita ropa protectora para lograr la supervivencia, la sostenibilidad y la efectividad de combate del soldado contra condiciones climáticas extremas, balística y guerra NBC (nuclear, biológica y química). La ropa protectora convencional que contiene absorbentes de carbón tiene limitaciones de permeabilidad al agua y mayor peso. Es muy deseable un tejido ligero y transpirable, que sea permeable tanto al aire como al vapor de agua, insoluble en todos los disolventes y altamente reactivo con los gases nerviosos y otros agentes químicos mortales. Debido a su alta superficie específica, los tejidos de nanofibras son capaces de desactivar los agentes químicos sin perjudicar la permeabilidad al aire y al vapor de agua de la ropa. Las nanofibras electrohiladas tienen una alta porosidad con un tamaño de poro muy pequeño, lo que proporciona una buena resistencia a la penetración de agentes químicamente nocivos en forma de aerosol en comparación con los textiles convencionales. Por lo tanto, el tejido de nanofibras muestra fuertes promesas como tejido protector ideal para militares.

**Sensores funcionales:** Debido a su gran superficie específica, las nanofibras poliméricas electrohiladas pueden ser útiles para sensores funcionales. Las películas de nanofibras de ácido poliláctico se han estudiado como una nueva interfaz de detección para aplicaciones de sensores químicos y bioquímicos.

Incluso las posibles tendencias para fabricar nanofibras electrohiladas consideran usos como administración de fármacos, filtración y purificación de agua y aire, absorción acústica y en la industria alimentaria, por lo que se requiere reducir ciertos inconvenientes con los materiales que se utilizan, como: los polímeros, solventes fuertes, ingredientes activos y químicos (Chaudhery, 2020).



### 2.1.2 Electrohilado

El electrohilado está considerado como la técnica más prometedora, por ser efectiva y avanzada para la producción de fibras continuas con diámetros de hasta unos pocos nanómetros. Comparte los rasgos característicos de dos procesos convencionales, es decir, electropulverización e hilado convencional en seco o fundido. El proceso implica el uso de alto voltaje para inducir la formación de un chorro de líquido, que pronto se solidifica evaporando el solvente o congelando la masa fundida para asegurar la fabricación de nanofibras. Este proceso versátil se puede aplicar tanto a polímeros naturales como sintéticos, aleaciones de polímeros, metales y cerámicas (Ding et al., 2019).

En una configuración típica de esta técnica (véase Figura 1) resaltan tres componentes principales: 1) fuente de alimentación de alto voltaje para generar un campo electrostático, 2) capilar en forma de aguja o cono, por donde fluirá el polímero (sencillo o múltiple) y puede estar dotado de una bomba infusora para controlar el flujo y la forma de las fibras, 3) un colector, que puede ser un plato estático o un cilindro giratorio, estos componentes se adaptan según las nanofibras que se deseen producir, considerando los usos y aplicaciones que tendrán (Chaudhery, 2020).

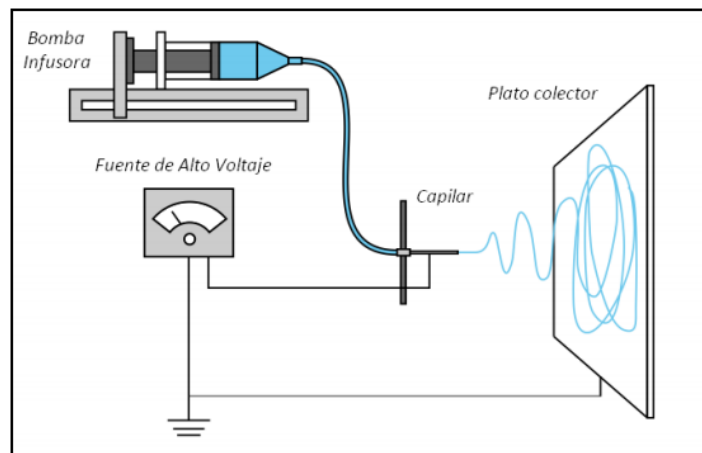


Figura 1 Sistema básico de electrohilado, Fuente: Duque et al., 2013.

Según se requiera, la técnica puede ser implementada de forma horizontal o vertical, el principal inconveniente de utilizar la posición vertical es que podría existir la posibilidad de un goteo desde el capilar hasta el plato colector, cayendo en las fibras que ya han sido depositadas, ocasionando defectos en la superficie de las mismas (Duque et al., 2013).

Adicionalmente, existen otros parámetros a considerar en esta técnica que influyen en las fibras que habrán de obtenerse, Chaudhery (2020) los agrupa en características del polímero utilizado, condiciones del proceso y condiciones ambientales:

- Polímero: peso molecular, viscosidad de la solución, densidad de carga, tensión superficial, conductividad, etc.
- Condiciones del proceso: intensidad de campo, distancia de la punta al colector, caudal, diseño de la punta de la aguja, composición y geometría del colector, etc.
- Condiciones ambientales: temperatura, humedad, velocidad del aire, etc.

El electrohilado tradicional utiliza una hilera de una sola boquilla donde las fibras producidas se depositan en un colector plano a una tasa de producción muy baja y en una orientación aleatoria, pero la técnica del electrohilado tradicional ha sufrido modificaciones gracias a contribuciones entre grupos académicos y sectores industriales, lo cual ha dado lugar a avances significativos en el proceso de electrohilado, y algunos de ellos se han podido llevar a la industria (Kny et al., 2018). Actualmente hay empresas en todo el mundo, como: DIENES apparatus GmbH, Donaldson, Elmarco, Bioinicia, Revolution Fibres y Arsenal Medical, por mencionar algunas, que suministran equipos de electrohilado a gran escala y de laboratorio, mientras que algunas participan activamente en la producción y comercialización de productos nanofibrosos electrohilados (Luo et al., 2012), la mayoría de las empresas utilizan procesos de electrohilado no convencionales que incluyen electrohilado de superficie libre, de rodillo, sónico y de superficie hendida (LeCorre-Bordes et al., 2017).

El hecho de que el electrohilado a escala industrial muestra diferencias significativas en comparación con las configuraciones tradicionales de electrohilado a escala de laboratorio, como tensiones aplicadas mucho más altas (30-120 kv frente a 5-20 kv), distancias más largas (20-50 cm frente a 10-15 cm) y tasas de producción mucho más altas, que enfatizan la necesidad de adaptar los resultados de la investigación académica a los requisitos de electrohilado a escala industrial. Estos incluyen, entre otros, la producción a gran escala y controlada de nanofibras de alta calidad, la disminución de la pérdida de muestras y la posibilidad de producir nanofibras con orientación controlada (Kny et al., 2018)

Se han desarrollado diferentes configuraciones, que incluyen sistemas de múltiples agujas, sin aguja y asistidos por gas, que proporcionan mejoras significativas en la producción en masa de nanofibras electrohiladas, estas configuraciones se clasifican según el modo de

alimentación de fluido. En las configuraciones confinadas, la expulsión de líquido se lleva a cabo a través de un capilar confinado, como una aguja, un tubo poroso, una punta de plástico, etc. El uso de sistemas no confinados permiten la producción de múltiples chorros en ausencia de capilares a partir de una superficie líquida libre, aunque los sistemas de electrohilado confinados proporcionan un mejor control sobre los diámetros de nanofibras y las distribuciones de diámetro a través del caudal restringido, sufren fenómenos de obstrucción y, por lo tanto, incurren en altos costes de mantenimiento (Thoppey et al., 2010).

Se desarrolló una tecnología multi-jet, con el objetivo de incrementar la producción de nanofibras, basada en el aumento de los chorros en diferentes estructuras, dando la oportunidad de escalar e incrementar la producción de nanofibras electrohiladas, aunque se trataba de una idea innovadora, el proceso no se pudo ampliar de manera eficiente, muchos chorros quedaron inactivos debido a la fuerte repulsión de los chorros adyacentes. Esto condujo a la baja productividad de las nanofibras no uniformes. Con el fin de superar este problema, los chorros se establecieron a una distancia apropiada, pero esto condujo a la necesidad de una gran separación y una disposición estructuralmente compleja. Además, a medida que aumenta el número de boquillas, todo el proceso se vuelve más caro (Fuh et al., 2012). Otro inconveniente aplicado en el caso del enfoque de chorro múltiple basado en agujas, que es la necesidad de utilizar un dispositivo de limpieza para evitar la obstrucción de las boquillas de electrohilado. Además, la influencia del campo eléctrico alrededor de cada aguja requiere el uso de un voltaje más alto para inducir la iniciación del chorro. Todas las limitaciones anteriores han llevado a muchos investigadores a encontrar soluciones alternativas de electrohilado de chorros múltiples (SalehHudin et al., 2017).

Otro camino que se ha tomado para la producción de nanofibras de mayor rendimiento en comparación con una configuración de boquilla única fue el electrohilado asistido por gas, donde se usa una camisa de aire para mejorar el caudal de la solución, sin embargo, este método tuvo un efecto negativo en la morfología y finura de las nanofibras (Niu et al., 2009). El método de producción de nanofibras de superficie líquida libre ha ganado una atención considerable desde su inicio. La configuración de electrohilado sin boquilla resuelve la mayoría de los problemas antes mencionados y es la técnica más utilizada para la producción de nanofibras a gran escala. Las configuraciones de electrohilado sin agujas que involucran hileras rotativas y estacionarias producen nanofibras directamente de los chorros generados a partir de la superficie expuesta del fluido (Esmaeilzadeh et al., 2015).

En concordancia con los avances ya mencionados se destaca el trabajo de los investigadores de la línea de Materiales y Nanotecnología de la Maestría, que a lo largo del tiempo han realizado diversas aportaciones (ver Figura 2) dentro de las cuales destacan publicaciones de carácter internacional, en ellas se observan contribuciones en materia de polímeros híbridos tomando en cuenta el efecto del PET en el sistema quitosano/almidón (Espíndola-González et al., 2011), de igual manera los efectos sobre las propiedades termomecánicas y de cristalinidad de las fibras electrohiladas de nailon 66 con refuerzos de carbono 1D y 2D (Navarro-Pardo et al., 2013), incluso se puede encontrar un estudio estadístico que versa de los efectos de los parámetros del proceso sobre la cristalinidad de las fibras electrohiladas de poliamida 66 (Navarro-Pardo et al., 2014), también una revisión acerca de nanocompuestos electrohilados de poliamida a base de grafeno y nanotubos de carbono (Navarro-Pardo et al., 2016), inclusive hay contribuciones en materia de películas delgadas, como es el caso de la degradación hidrolítica y caracterización morfológica de películas de PGA electrohilado que contienen nanopartículas de TiO<sub>2</sub> (de la Cruz et al., 2016), y su aportación más reciente, donde además de hacer participaciones en el rubro de los nanomateriales también se exhiben propuestas para la configuración de un sistema experimental de electrohilado de campo cercano (de la Rosa-Gatica et al., 2022).

2011	2013	2014	2016	2022
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polímeros híbridos, PET, quitosano, almidón.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades de fibras de nailon 66 con carbono 1D y 2D.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cristalinidad de fibras de poliamida 66.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nanocompuestos electrohilados de poliamida 66, grafeno, nanotubos de carbono.</li> <li>• Películas delgadas de PGA con nanopartículas de TiO<sub>2</sub>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrohilado de campo cercano con electrodo afilado.</li> </ul>

Figura 2 Aportaciones de los investigadores de la línea de Materiales y Nanotecnología de la Maestría en Ingeniería del Instituto Tecnológico de Querétaro.

## 2.2 Gestión Tecnológica

La gestión tecnológica está considerada como uno de los aspectos fundamentales dentro de la gestión empresarial, a través de ella es posible identificar recursos potenciales en las organizaciones, así como sus problemas tecnológicos. Tiene como finalidad aumentar la

creación de conocimientos nuevos, la generación de ideas técnicas (o su mejora) para la obtención de nuevos productos, procesos y/o servicios. A su vez, ayuda en el desarrollo de ideas de prototipos de trabajo, hasta llegar a las fases de fabricación, distribución y uso, es decir, que su mayor impacto se encuentra directamente relacionado a los procesos generadores de valor, por medio de la adopción de planes de innovación y mejora continua que conllevan a reforzar su competitividad. Dentro de las implicaciones que trae consigo un proceso de gestión de este tipo, se encuentran: conocimiento del mercado, identificación de tendencias tecnológicas, así como capacidades de competidores; estar dispuestos a realizar adquisiciones o desarrollo de tecnologías, contemplando los medios para financiamiento, la evaluación de resultados, entre otros. (Solleiro y Castañón, 2016).

La gestión tecnológica engloba todas las actividades que hace una organización para estar en posibilidades de utilizar de la mejor manera posible tanto la ciencia como la tecnología por medio de la innovación, sin importar si fue generada al interior o exterior, en el mundo de los negocios esta debe guiarse por la intuición humana, la inteligencia y la previsión. Para esto se puede hacer uso de diversos modelos, siempre y cuando se tomen en cuenta tres aspectos: qué es lo que requiere de una innovación y gestión tecnológica dentro de la empresa, cómo la gestión de la tecnología se articulará al desempeño de una empresa y la forma en que los procesos empresariales contribuirán en esto y el porqué de su importancia, visto desde las relaciones que existen con las funciones que tienen los negocios en su gestión (Cotec, s.f.).

Para Castellanos (2007) la gestión tecnológica es una capacidad que tiene la empresa, la cual permite hacer productivo el conocimiento y la información, donde se tiene una visión organizacional que incorpora a la tecnología como un elemento natural de la toma de decisiones a nivel gerencial.

Las actividades para el desarrollo de la gestión tecnológica fueron clasificadas por Zoltán (1993, citado por Castellanos, 2007) de la siguiente manera:

- Diagnóstico tecnológico. Consiste en sistematizar y analizar los datos pertinentes de información e inteligencia tecnológica; calificar el nivel de modernidad tecnológica de la empresa respecto de los competidores; evaluar el potencial de desarrollo tecnológico propio y por adquisiciones de la tecnología; identificar los cuellos de botella relacionados con tecnología que impidan a la empresa avanzar hacia niveles superiores de calidad en procesos y productos; identificar líneas específicas de

investigación y desarrollo e innovación tecnológica para aumentar la capacidad de competencia en general y para el mejoramiento de la calidad, en particular.

- Estrategia de planificación tecnológica. Aquellas actividades del proceso de planificación estratégica de la empresa, proporcionando la información del diagnóstico tecnológico. Su principal fin radica en formular objetivos y metas específicas de cambio y desarrollo tecnológico en coherencia con la estrategia y planes de control de calidad total y mercadeo.
- Adquisición de tecnología y desarrollo tecnológico interno. Su función es comparar las alternativas de adquisición externa o generación interna de tecnologías que se precisen para el desarrollo de los objetivos y metas fijadas. Además establece posibles fuentes de financiación; análisis de costos; viabilidad de las adquisiciones necesarias para realizar el cambio técnico que se haya programado, evaluando las alternativas disponibles.
- Cambio técnico e innovación tecnológica. En este caso se busca asegurar las condiciones necesarias para el avance tecnológico programado, entre ellas la disponibilidad y preparación del talento humano y los laboratorios e infraestructura necesarios, así como realizar la gestión de la adquisición de tecnología y del desarrollo tecnológico interno.
- Control y evaluación. Esta actividad se centra en verificar periódicamente la adecuación de la estrategia, los planes y la ejecución de la gestión tecnológica a las metas de ventas, de calidad, y a los beneficios esperados. En este proceso se califican los resultados logrados, teniendo en cuenta las modificaciones pertinentes como resultado de contingencias en el sistema productivo y el mercado. Una vez realizado el control, es conveniente retroalimentar los resultados al diagnóstico tecnológico, con el fin de que el proceso sea cíclico y permanente.

Para el desarrollo del proyecto se consideran principalmente actividades relacionadas con el primer punto, referente al análisis de la tecnología, su modernidad, así como líneas de investigación y desarrollo de tecnología.

El hacerlo posible implica utilizar herramientas como la vigilancia y mapeo tecnológicos, con la intención de observar el entorno, características de competidores, mercados atendidos, incluso avances científicos y tecnológicos, también resulta necesario analizar el ciclo de vida de la tecnología en conjunto con una visión de prospectiva tecnológica, para identificar el punto

donde actualmente se encuentra la tecnología y dónde se pretende estar posicionada en un largo plazo, información que será de utilidad para definir un mercado, consumidores y producto, donde un proceso de planeación tecnológica servirá para establecer estrategias y cursos de acción a mediano y largo plazo.

### **2.2.1 Vigilancia Tecnológica**

En los sistemas productivos es conveniente la distinción entre las tecnologías de base, clave, de paso y las emergentes, entre otras. Shenhar y Adler (1999, citado por Castellanos, 2007) plantean algunas diferencias entre ellas y señalan, además, la importancia de estas tecnologías del siguiente modo:

- Las tecnologías de base no ofrecen ninguna ventaja competitiva ya que todos los actores de la industria tienen igual acceso a ellas;
- Las tecnologías claves son indispensables para la generación de la ventaja competitiva, puesto que ofrecen la oportunidad para la diferenciación significativa de proceso y de producto;
- Las tecnologías de paso todavía no se han introducido en la industria, aunque poseen potencial comprobado para convertirse en tecnologías claves; por su parte,
- Las tecnologías emergentes están en el horizonte, aún no se han puesto a prueba, pero son potencialmente importantes; las tecnologías de paso y las emergentes son en extremo fundamentales, debido a que pueden llegar a ser más significativas en el plano estratégico.

El trabajo sobre las tecnologías emergentes debe planearse con base en la estrategia de la unidad de negocios. El futuro exige tener en cuenta las necesidades de la tecnología a largo plazo (Gaynor, 1999, citado por Castellanos, 2007), para lo cual se requiere una buena información sobre lo que está sucediendo en cada área tecnológica, buscando que los responsables de las políticas y las empresas puedan tomar las mejores opciones sobre futuros proyectos de investigación o de adquisición de tecnología

Una de las herramientas que emplea la gestión tecnológica es la vigilancia tecnológica, la cual tiene como objetivo principal conocer todo lo que ocurre en un área tecnológica determinada para establecer el camino que deben tomar los trabajos de investigación que se desarrollen dentro de la empresa (Cegarra, 2004). Forma parte del proceso por el cual una organización capta información de sí misma y del exterior de una manera organizada, selectiva y

permanente, acerca de ciencia y tecnología, además la selecciona, analiza, difunde y comunica, a modo de que sea considerada como una base en la toma de decisiones estratégicas basadas en conocimiento, reduciendo riesgos y anticipándose a los cambios, haciendo uso de la observación y el análisis del entorno científico, tecnológico y de los impactos económicos presentes y futuros (Delgado et al., 2010).

La vigilancia es el esfuerzo sistemático y organizado por la empresa de observación, captación, análisis, difusión precisa y recuperación de información sobre los hechos del entorno económico, tecnológico, social o comercial, relevantes para la misma por poder implicar una oportunidad u amenaza para ella (Palop y Vicente, 1999). Para un proceso de gestión tecnológica el vigilar las señales es explorar y buscar en el entorno tanto interno como externo, para identificar indicios de una innovación potencial, que pueden ser necesidades de varios tipos, oportunidades que surgen de actividades de investigación, presión para adaptarse a una cierta legislación, o el comportamiento de los competidores, los cuales representan en su conjunto un grupo de estímulos a los que debe responder la organización. También considera el focalizar, es decir, seleccionar de manera estratégica de un grupo de potenciales detonadores de innovación en dónde la empresa habrá de asignar recursos y se comprometerá a establecer líneas que acción que le brinden mayores posibilidades para la obtención de una ventaja competitiva (Cotec, s.f.)

La vigilancia tecnológica ha experimentado un notable cambio en los últimos años como consecuencia del desarrollo importante de tres herramientas básicas que están posibilitando el acceso rápido y en tiempo real a informaciones necesarias para la organización. Estas herramientas son las bases de datos, la cienciometría y los mapas tecnológicos (Escorsa y Maspons, 2001, citado por Hidalgo et al., 2002).

### **2.2.2 Mapeo Tecnológico**

El mapeo tecnológico realiza análisis de la evolución de un sector concreto, tomando como base la información contenida en las patentes publicadas a nivel mundial durante un tiempo determinado. Esta es una de las actividades de la vigilancia tecnológica, la cual toma en cuenta una variedad más amplia de fuentes de información (Palop y Vicente, 1999).

Los mapas tecnológicos son una manera de representar los avances tecnológicos que están teniendo lugar en un ámbito o área determinados, considerando cómo evolucionará la



tecnología a lo largo del tiempo. Su elaboración requiere del análisis de indicadores bibliográficos y su concurrencia (aparición conjunta de dos o más palabras dentro de títulos, resúmenes, palabras clave, etc.), mientras más veces se observe la aparición de palabras clave en artículos o patentes publicadas, más grande es la proximidad, la cual es medida a través de índices y representada en un plano (Cegarra, 2004). Dentro del gráfico se ubican aquellas tecnologías que tienen mayores investigaciones, publicaciones y patentes en un período en particular, incluso si se comparan mapas de periodos diferentes es posible detectar aquellas tecnologías emergentes que están experimentando una rápida expansión mediante la comparación con mapas correspondientes a períodos anteriores (Escorsa et al., 2000).

Para llevar a cabo la elaboración de estos mapas es necesario partir del análisis de uno o dos indicadores relacionales: las cocitaciones y las coocurrencias de palabras. Los mapas tecnológicos basados en las cocitaciones permiten detectar la aparición simultánea de citas que se repiten en un gran número de publicaciones o patentes y actúan a modo de núcleos o gérmenes alrededor de los cuales se desarrollan otros estudios, formando agrupaciones o *clústers* (Escorsa y Maspons, 2001, citado por Hidalgo et al., 2002). Con relación a los mapas tecnológicos basados en la coocurrencia de palabras, éstos permiten detectar las áreas o programas de investigación en que se subdivide un campo científico o tecnológico determinado, si bien no permite entrar en el análisis del contenido de los documentos. Pero el análisis no tiene por qué restringirse solamente a las palabras, sino que puede aplicarse también al estudio de coocurrencia entre palabras clave de productos y/o tecnologías y empresas (que permite detectar en qué productos y/o tecnologías trabajan las empresas de un sector), entre empresas y los códigos de la CIP, Clasificación Internacional de Patentes (para conocer las áreas en las que están patentando las empresas de un sector), entre productos y/o tecnologías y patentes, etc. (Escorsa et al., 1998, citado por Hidalgo et al., 2002)

### **2.2.2.1 Cienciometría**

El mapeo de datos científicos relaciona las especialidades, campos, disciplinas, autores y documentos individuales entre sí, evidenciando similitudes (Cobo et al., 2011). Existen diferentes formas de analizar el número de artículos publicados, la cooperación, los principales temas de investigación y comunicación del conocimiento (Qiu et al., 2018). La Cienciometría se utiliza principalmente para el estudio de todos los aspectos de la literatura científica y tecnológica, el análisis ofrece un enfoque cuantitativo bastante amplio para medir y analizar datos, revela tendencias y patrones (Hood y Wilson, 2001).

Parte de la información que puede aportar un estudio de este tipo es desde qué años inician las aportaciones a un campo o área del conocimiento en particular, así como sus rasgos más estudiados y los que requieren estudios a mayor profundidad, los países que más han contribuido según el número de publicaciones, los materiales a los cuales se les ha prestado mayor atención para su aplicación, incluso las colaboraciones que se han formado o están en vías de desarrollarse.

Tal es el caso de Davarazar et al. (2021), quienes aplicaron este tipo de evaluaciones cuantitativas para analizar el tratamiento de aguas residuales por medio de nanomateriales, también se han reportado análisis para identificar las tendencias y características en el empleo de nanoburbujas y microburbujas en la ingeniería ambiental (Movahed y Sarmah, 2021), o la gestión de residuos solares fotovoltaicos (Mogoutov y Kahane, 2007), incluso se han realizado mapeos y análisis cuantitativos acerca de ensayos clínicos para medicamentos involucrados en tratamientos contra el cáncer (Liu et al., 2021).

### **2.2.2.2 Mapas autoorganizados**

Actualmente existen numerosas arquitecturas (Maltarollo et al., 2013) o topologías para el uso de redes neuronales artificiales (ver Figura 3), sin embargo, una arquitectura particularmente interesante fue introducida por Teuvo Kohonen (1982) en la década de los 80s. Esta arquitectura se le denomina mapas autoorganizados o mapas de Kohonen, que hacen uso de mapas de aprendizaje competitivo sin supervisión para producir una representación simplificada y de baja dimensión de un conjunto de datos de entrada, los cuales relacionan la similitud o características comunes entre los elementos presentados.

Los sistemas autoorganizados son tipos de sistemas en donde son capaces de cambiar su estructura interna en función de las circunstancias o estímulos externos (Banzhaf et al., 2009). A pesar de la simplicidad de los mapas autoorganizados, estos son usados en gran variedad de aplicaciones (Haykin, 1998) como: el reconocimiento de voz (Kohonen, 1988), la robótica (Faigl, 2010), clasificación y análisis de imágenes médicas (Grajciarova et al., 2012), Estudios psicolingüísticos (Kohonen, 2014), la agrupación de textos o artículos científicos (Liu et al., 2012), entre muchas más.

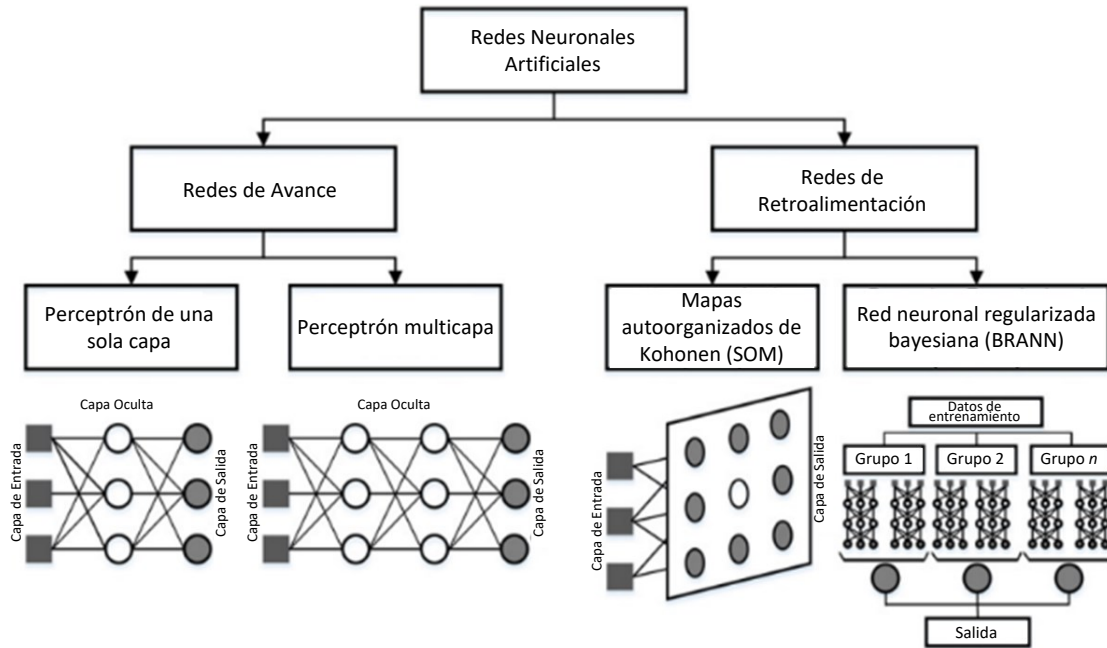


Figura 3 Arquitecturas más comunes de las redes neuronales, Fuente: Maltarollo et al., 2013.

### 2.2.3 Ciclo de vida de la tecnología

El proceso evolutivo que tiene a través del tiempo una tecnología se puede explicar según las características que describen Vega-González (2003), Peláez y Sabater (2001), definidas en cuatro fases (ver Figura 4) de lo que se conoce como el ciclo de vida de la tecnología:

- **Embrionaria:** comprende desde el surgimiento de una idea inventiva hasta el desarrollo de un prototipo en laboratorio. Durante esta fase todo es incierto, ya que se desconocen los costos reales y finales del desarrollo porque aún no se completa. También se desconoce si existirán problemas técnicos para el escalamiento e introducción industrial y cuál será la recepción y percepción del mercado, probablemente algunas deficiencias tecnológicas no están del todo resueltas.
- **Crecimiento:** en este punto se cuenta con un prototipo de laboratorio, se inicia el escalamiento industrial. Se desconoce si habrá problemas técnicos para la adaptación y asimilación de la tecnología a los procesos productivos, el costo final del escalamiento, la percepción y aceptación del mercado y el comportamiento de la competencia, el producto se está introduciendo y los compradores tienen dudas, surgen más fabricantes dispuestos a producir.
- **Madurez:** la tecnología ya se ha posicionado dentro del mercado y generalmente existe un impulso por la optimización de los procesos productivos, el mercado se encuentra

bastante saturado y la guerra entre competidores se centra en los precios y la diferenciación.

- **Envejecimiento:** la tecnología poco a poco va perdiendo terreno en el mercado y es muy probable que llegue alguna innovación tecnológica que ocupe su lugar. Las ventas bajan porque probablemente el producto ha quedado anticuado, debido a la aparición de nuevos productos que hacen las mismas funciones.

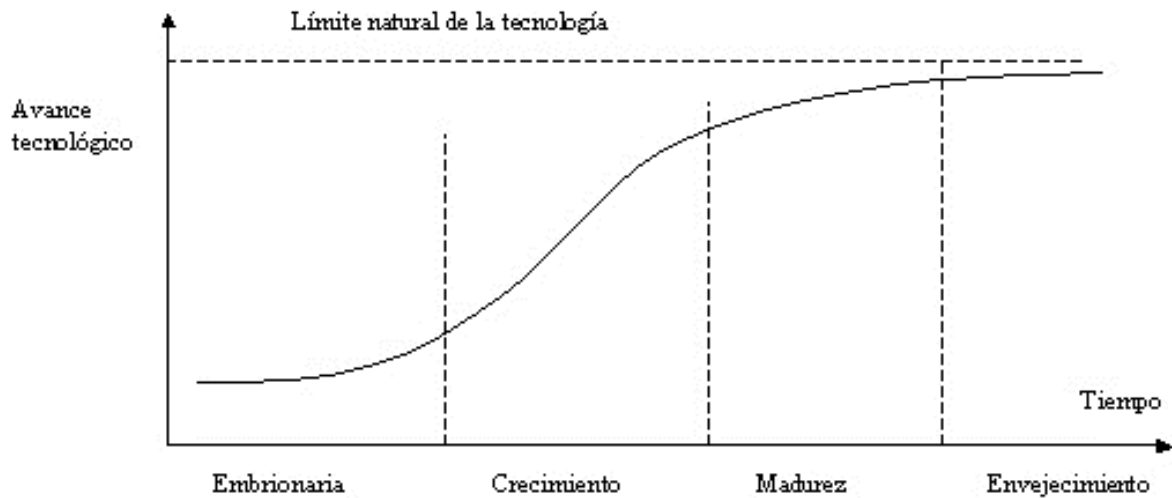


Figura 4 El ciclo de vida de la tecnología. Fuente: Peláez y Sabater, 2001.

#### 2.2.4 Prospectiva Tecnológica

La prospectiva o previsión tecnológica se centra en investigar cómo influyen los factores que no controlan las empresas (por ejemplo sociales, políticos, incluso descubrimientos científicos) en nuevas tendencias y nuevas tecnologías. Su objetivo es estudiar y prever el futuro de un determinado campo tecnológico en un periodo de tiempo específico (Cegarra, 2004). Hace uso de visiones de expertos, planteamiento de escenarios alternativos y los combina con una visión creativa para generar una planificación estratégica, la fundación Cotec (s.f.) clasifica este tipo de estudios en técnicas exploratorias y normativas:

- **Técnicas exploratorias:** hacen un análisis de datos históricos, parámetros técnicos, resultados económicos, etc., los cuales son comparados dentro de un cierto periodo para generar estadísticas. Las técnicas relevantes son: las curvas en S, los ciclos, la extrapolación de tendencias, y la sustitución tecnológica.
- **Técnicas normativas:** parten de una visión a futuro, proponen un estado deseado o posible y trabajan hacia atrás para determinar los pasos o caminos necesarios para

conseguir el resultado requerido. Cada camino factible hasta el objetivo se analiza por su relevancia y dificultad. Algunos ejemplos de técnicas normativas son: árboles de relevancia, análisis morfológico, vigilancia y monitorización tecnológica, análisis Delphi, análisis del impacto de las tendencias.

Para Miles et al (2016) la prospectiva además de considerar a la tecnología también involucra a la ciencia e innovación, incluso describen un proceso que se compone de siete fases que interactúan entre sí:

- **Iniciación:** donde es examinada la necesidad de la actividad y se establecen los alcances, usos y usuarios previstos.
- **Inteligencia:** exploración, establecimiento de conocimientos básicos sobre tendencias, resultados de otros estudios y opiniones de partes interesadas.
- **Imaginación:** creatividad y modelado, se realizan esfuerzos para captar la dinámica subyacente de los objetos de la prospectiva.
- **Integración** valoración y visión, se delinear los posibles futuros derivados de las dinámicas y desarrollos que se han considerado.
- **Interpretación:** estrategia y priorización, se examinan las implicaciones de los pasos anteriores, especialmente en términos de lo que estos significan para lograr los principales objetivos de las partes interesadas.
- **Intervención:** acción, puesta en marcha de las estrategias propuestas, las prioridades y los próximos pasos se describen y comunican a los actores clave o se deliberan con ellos.
- **Impacto:** evaluación e integración, se evalúa el grado en que la actividad de prospectiva ha sido útil y ha logrado sus objetivos, se establecen especificaciones para el seguimiento o ampliación.

#### 2.2.4.1 Árbol de decisión

Un árbol de decisión es una herramienta numérica, perteneciente a al aprendizaje automático (*Machine Learning* en inglés) dentro del área del aprendizaje supervisado no paramétrico. Un árbol de decisión es uno de los algoritmos más populares por su fácil implementación en problemas de clasificación, predicción y toma de decisiones. Se utiliza también en el área de la investigación de operaciones y la minería de datos. El propio nombre sugiere que hace uso de un diagrama de flujo como una estructura de árbol (ver Figura 5) para mostrar la predicción o la jerarquía de decisión que resulta de una serie de divisiones basadas en funciones lógicas.

Su estructura es muy simple, consta de un nodo raíz y termina con una decisión tomada a través de una ruta formada por hojas (Sumathi et al., 2022).

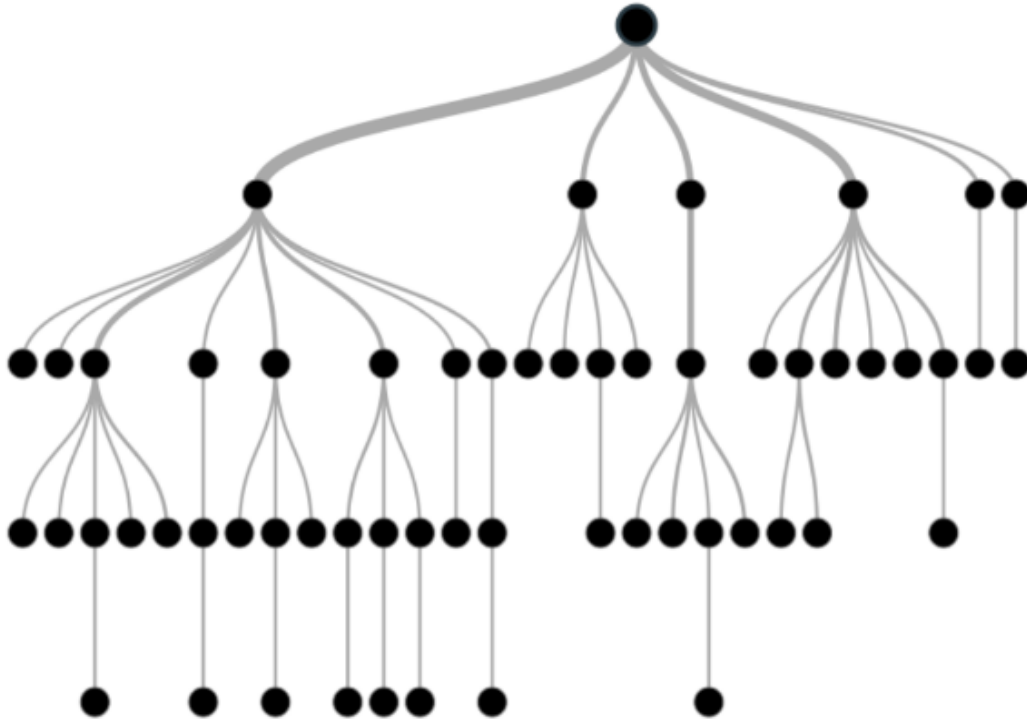


Figura 5 Esquema general de un árbol de decisión.

Sumathi et al (2022) proporcionan algunos conceptos fundamentales acerca de la estructura y se muestran a continuación:

- **Nodo raíz:** Es el nodo inicial presente al comienzo del gráfico, la población comienza a dividirse en base a las probabilidades obtenidas en base a las características predictivas.
- **Nodo de decisión:** Son los nodos que obtenemos después de dividir el nodo raíz y la suma de las probabilidades para cada nodo deberá ser el 100 por ciento o 1 si se encuentra normalizado.
- **Nodo hoja:** Los nodos donde ya no es posible obtener alguna otra división, se le considera como nodo hoja o nodo terminal, esto igual depende de la profundidad del árbol dada por el usuario.
- **Sub-Árbol:** Es una pequeña porción del árbol en donde el nodo hijo se convierte en el nodo raíz, este es un proceso recursivo hasta la profundidad del árbol
- **Profundidad:** Son los niveles inferiores máximos a mostrar del diagrama o árbol y por ende, el número de sub arboles a mostrar, aunque esto depende de que en base a las

características y probabilidades obtenidas en la predicción o clasificación de la información.

#### 2.2.4.2 Entropía

Este concepto hace referencia a la incertidumbre de nuestro conjunto de datos. Un árbol de decisión es un conjunto de decisiones que se basan en un algoritmo recursivo de bifurcaciones (sí y no), por lo que si nuestros datos son del tipo discreto, la entropía se puede calcular de la siguiente manera (Rokach y Maimon, 2014).

$$E_{(S)} = -p_{(+)} \log(p_{(+)}) - p_{(-)} \log(p_{(-)})$$

dónde:

$E_{(S)}$  = Es la entropía o grado de incertidumbre del conjunto de datos

$p_{(+)}$  = Probabilidad de la clase positiva

$p_{(-)}$  = Probabilidad de la clase negativa

#### 2.2.4.3 Algoritmo CART

Es un método numérico para construcción de árboles de decisión creado por Breiman en 1984 y que funciona examinando muchas y diversas maneras de seccionar o particionar localmente los datos en segmentos binarios más pequeños en base a las diferentes características y combinaciones de los predictores. CART significa clasificación y árboles de regresión (*Classification And Regression Trees*). Una de las principales ventajas que destacan de este algoritmo, son su robustez ante datos atípicos u *outliers* y su fácil implementación. Cuando el conjunto de datos a analizar es continuo, el resultado es un árbol de regresión y cuando los datos son discretos, el resultado es un árbol de decisión (Barros et al., 2015).

#### 2.2.5 Planeación Tecnológica

Para Erosa y Arroyo (2007), la planeación tecnológica es la encargada de incorporar el uso de la tecnología como parte de un desarrollo estratégico, el cual sirve para tener una ventaja competitiva acorde a sus estrategias de negocios, tomando en cuenta la base de competir, las tecnologías que deben dominarse, lo competitivo que en este momento tiene la organización con el uso de esas tecnologías y finalmente cuál es su estrategia tecnológica. Incluso si la tecnología es considerada como una competencia de la organización, esta debe ser tomada

en cuenta en sus procesos de planeación para ser usada de forma ventajosa. Este criterio de competitividad puede ser representado mediante el siguiente modelo (ver Figura 6).



Figura 6 Modelo de Planeación tecnológica por criterio de competitividad. Fuente: Erosa y Arroyo, 2007.

El criterio de competitividad trae consigo un proceso (Ver Figura 7) que se estructura en tres etapas: búsqueda de tecnología y auditoría tecnológica, desarrollo de la estrategia tecnológica, y finalmente la instrumentación y utilización. Lo que permite incorporar de una forma racional a la tecnología dentro de las funciones de la organización, dando como resultado de este proceso de planeación un “plan tecnológico” donde se aprecia el papel que tiene la tecnología y su contribución para crear ventajas competitivas (Erosa y Arroyo, 2007).

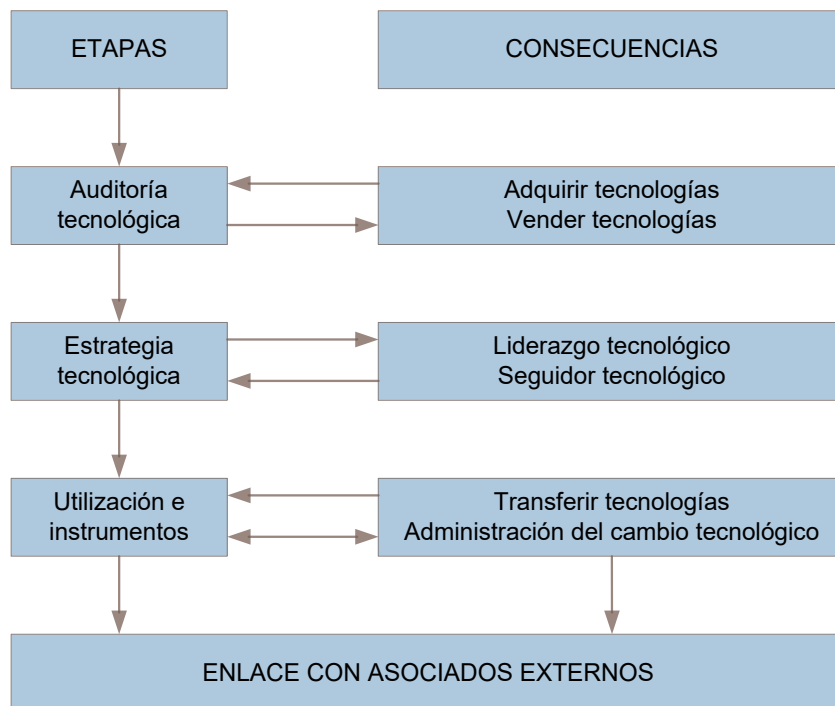


Figura 7 Etapas de la planeación tecnológica, Fuente: Erosa y Arroyo, 2007.



El plan tecnológico reúne la información necesaria para la toma de decisiones en materia de adquisición, transferencia y asimilación de una tecnología, así como los requerimientos para la administración del cambio que conllevan estas decisiones, por medio de un conjunto de principios y lineamientos, para Erosa y Arroyo (2007) las necesidades que debe expresar este plan tecnológico pueden tener una estructura variada dependiendo del tipo de organismo y las operaciones que se realicen (Ver Figura 8), desde una empresa pequeña hasta una con operaciones a escala internacional o inclusive aquella que se dedique a la innovación.

Organización de tipo innovador	Empresa con operaciones internacionales	Empresa pequeña
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Estrategias de negocios</li> <li>•Plataforma tecnológica.</li> <li>•Estrategias tecnológicas.</li> <li>•Propiedad industrial e intelectual.</li> <li>•Programa de asimilación de tecnología.</li> <li>•Impacto en la infraestructura organizacional.</li> <li>•Recomendaciones del grupo de paneación tecnológica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Objetivo general.</li> <li>•Objetivos específicos.</li> <li>•Marco tecnológico.</li> <li>•Resultados de la auditoria tecnológica.</li> <li>•Dictamen de posicionamiento tecnológico.</li> <li>•Vinculación estratégica .</li> <li>•Programa de instrumentación de la estrategia tecnológica.</li> <li>•Implicaciones organizacionales.</li> <li>•Política tecnológica del país.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Estrategia de negocios.</li> <li>•Plataforma tecnológica.</li> <li>•Requerimientos tecnológicos.</li> <li>•Programas de adquisiciones y financiamiento.</li> <li>•Programa de asimilación.</li> <li>•Administración de personal.</li> </ul>

Figura 8 Ejemplos de estructuras de planes tecnológicos, adaptado de Erosa y Arroyo, 2007.

Para la presente investigación se tomará en consideración los aspectos que resultan afines a la labor que se realiza por parte de los investigadores de la línea de Materiales y Nanotecnología de la Maestría en Ingeniería, retomando elementos de la estructura de una empresa pequeña para la propuesta de plan tecnológico:

- Estrategia de investigación
  - Misión
  - Visión
- Plataforma tecnológica
  - Productos
  - Procesos
- Requerimientos tecnológicos
  - Equipo
  - Entrenamiento y capacitación
- Programa de adquisiciones y financiamiento.

### 2.2.6 Hoja de Ruta Tecnológica

Con el objetivo de incorporar adecuadamente la tecnología en los sistemas productivos, se deben plantear actividades como: integración de herramientas de gestión tecnológica; generación de conocimiento; y formulación e implementación de estrategias, que en conjunto conformarán un sistema de inteligencia tecnológica con ciertos atributos como flexibilidad, versatilidad y dinamismo. Posteriormente, se deben establecer las consideraciones para su implementación en los sectores productivos, donde uno de los métodos integrales de gestión que se ha desarrollado recientemente es el *roadmap* tecnológico, el cual ha surgido como una alternativa metodológica para la resolución de problemas complejos (Castellanos, 2007).

Conocido como *Technology Roadmap* (TRM) es una herramienta propuesta por Motorola a inicios de la década de 1980, actualmente las organizaciones la emplean para alinear los objetivos y recursos que poseen con los diferentes escenarios y caminos a seguir durante un cierto tiempo, con la finalidad de que en el futuro sean capaces de atender las necesidades de la sociedad o el mercado, el satisfacer dichas necesidades conlleva desarrollar capacidades que posiblemente en este momento no han sido identificadas, razón por la cual el TRM ofrece dentro de sus ventajas la flexibilidad, puede adaptarse a escenarios diversos ajustando las técnicas a emplear y los alcances, en función de las amenazas y oportunidades que enfrenten las organizaciones en relación a la tecnología y las demandas del mercado a lo largo del tiempo. Todo esto con una visión del futuro que contempla a todos los procesos y departamentos en acciones conjuntas (Paz, 2015).

El TRM es considerado como un método normativo orientado a objetivos, que resulta atractivo para industrias de alta tecnología debido a que proporciona una comprensión esencial de los eventos próximos, así como una dirección y grado de certeza para la planificación, esto lo convierte en una herramienta de gestión tecnológica útil para la toma de decisiones estratégicas y operativas. Dicha utilidad radica en describir las relaciones entre la ciencia, la tecnología y sus aplicaciones, por lo que se facilita la coordinación de actividades y recursos, también la identificación, evaluación y selección de alternativas que ayuden al logro de objetivos y monitorear progresos (Miles et al., 2016).

Para que esta herramienta sea exitosa y sostenible intervienen ciertos factores, como: una necesidad comercial clara, beneficios tangibles, una estructura organizacional bien definida, así como su problemática, compromiso por parte de la alta dirección, un proceso eficaz de

recopilación de información, así como de comunicación para la toma de decisiones y una cultura que apoye a la colaboración y los procesos de negocio (Richey y Grinnell, 2004).

El TRM toma diferentes formas, aunque la más generalizada y difundida consiste en la utilización de diferentes herramientas de gestión tecnológica, las cuales hacen posible la representación gráfica multicapas de cómo el desarrollo de tecnología y de productos se relacionan con las oportunidades del mercado. Un importante carácter distintivo de esta metodología es el eje de tiempo, el cual indica la perspectiva de aparición y consolidación de eventos particulares como: objetivos, nichos de mercado, productos, tecnología, etc. La escala del tiempo para los estudios de TRM dependerá de las condiciones de la industria y del horizonte de tiempo planteado para la planeación (Probert et al., 2003). La estructura típica de un TRM (véase Figura 9) comprende un diagrama estratificado que muestra las relaciones entre tecnología, producto (o servicio) y mercado. La capa superior es generalmente usada para representar el mercado y los manejadores de negocio, incluyendo el propósito del mapa (las condiciones que tienen que ser encontradas o satisfechas). La capa central expresa la manera en que esas condiciones serán encontradas como los productos, servicios o capacidades que serán entregadas sobre tiempo. La última capa representa la tecnología, y en ocasiones, los recursos que son necesarios entregar a la capa anterior. El mapa puede tomar una variedad de formas particulares, dependiendo del propósito por el cual este ha sido concebido. Dichos propósitos pueden incluir planeación de productos, identificación de recursos críticos, exploración de oportunidades de mercado como una simple herramienta de comunicación dentro o fuera del negocio (Castellanos, 2007).

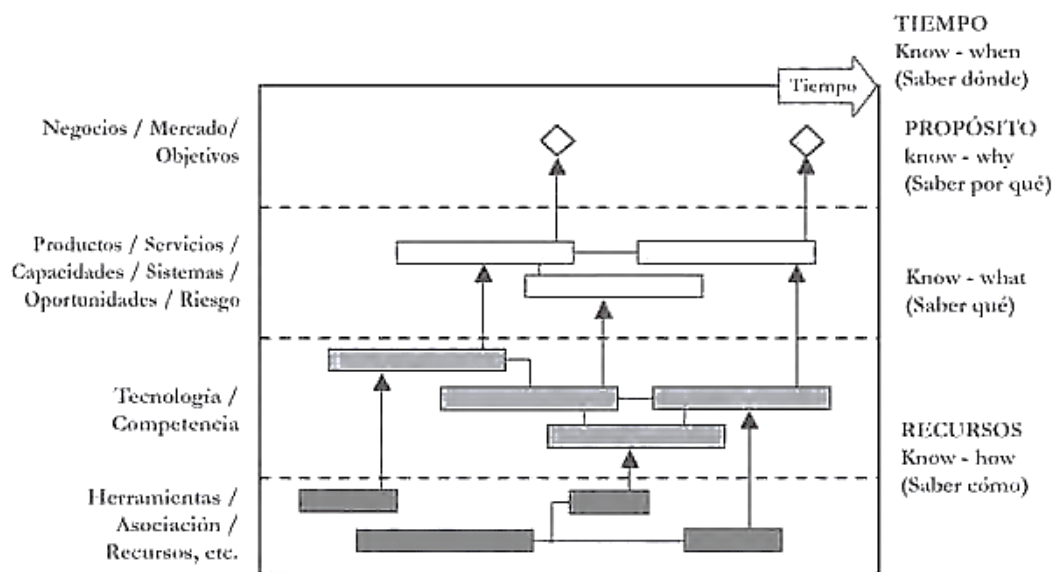


Figura 9 Estructura general de una hoja de ruta tecnológica, Fuente: Castellanos 2007.

### Capítulo 3 Metodología

El propósito de este capítulo es describir el tipo de investigación que se llevará a cabo, así como las herramientas que serán utilizadas para poder reunir la información, los diferentes elementos a analizar que servirán como guía en cada una de las etapas en que se divide el proyecto, explicando los procesos y técnicas utilizados para su procesamiento, donde la principal aportación de este trabajo es el uso de herramientas de la inteligencia artificial como auxiliar en las tareas de vigilancia y mapeo tecnológicos, para facilitar la búsqueda e identificación de tendencias, que es lo que se espera identificar de manera inicial y con ello plantear una serie de estrategias a mediano y largo plazo.

Tomando en cuenta que el objetivo del proyecto es identificar tendencias de uso y aplicaciones de nanofibras electrohiladas, el proceso de investigación a realizar tiene un enfoque cualitativo y es de carácter exploratorio, con los resultados obtenidos será posible establecer prioridades futuras. Para identificar los cambios que han surgido en las aplicaciones de la técnica de electrohilado se plantea un diseño no experimental longitudinal, cuyo periodo de análisis será de los últimos 3 años.

Dicho análisis engloba varias tareas, de las cuales se ha propuesto realizar un estudio que contemple tres etapas: mapeo y vigilancia tecnológica, análisis de la tecnología disponible y las estrategias para la gestión tecnológica, cada una de estas etapas a su vez se compone de otros elementos (véase Figura 10) que proporcionarán un mejor panorama del uso que actualmente se le está dando a las nanofibras que son producidas con la técnica de electrohilado y ayudarán a planear el curso de acción a seguir con la finalidad de proponer un uso innovador.

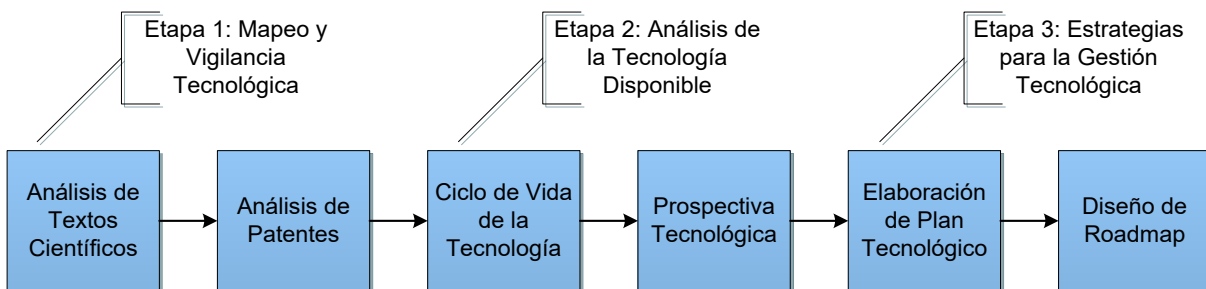


Figura 10 Diseño general de la metodología a utilizar

### 3.1 Etapa 1: Mapeo y Vigilancia Tecnológica

Consiste en la recopilación de información referente a la producción científica, tecnología disponible, posibles avances en la técnica, patentes y productos comercializados, para determinar su grado de evolución así como las posibles oportunidades.

Los datos que habrán de recolectarse serán obtenidos de fuentes secundarias, como artículos de revistas y registros de patentes (ver Figura 11 y Figura 12), es decir, por medio de un muestreo dirigido, donde las principales palabras clave a utilizar serán: electrohilado y nanofibras. Se hará uso de bases de datos y buscadores de patentes relacionados con electrohilado, como: *Patentscope*. De manera similar serán empleadas bases de datos bibliograficas como *ScienceDirect*. La información obtenida será clasificada tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Quién: investigador(es), empresas, etc.
- Cuando: año de publicación o registro.
- Dónde: país, nacionalidad de los autores.
- Tipo de electrohilado: una punta o varias, punta sencilla o con capas, colector estático o rotatorio.
- Campo de aplicación: textil, biomedicina, alimentos, etc.
- Material utilizado: polímero natural o sintético.

Posteriormente los datos se procesarán de acuerdo con el año de registro, ubicación, así como otros datos técnicos de importancia que se mencionaron anteriormente para la obtención de un mapeo tecnológico. Con el análisis que se realice se buscarán indicios de las palabras clave en el mapa que permitirán identificar la relación entre los avances tecnológicos y las áreas de aplicación.

El realizar un análisis de este tipo implica hacer uso de la Cienciometría, que es una ciencia dedicada al estudio del proceso de desarrollo científico, explora las relaciones internas que existen entre las actividades científicas, la producción, transmisión y utilización de la ciencia, valiéndose de herramientas cuantitativas y análisis estadísticos (Qiu et al., 2018).

Particularmente, para evidenciar las relaciones que existen entre la técnica de electrohilado de nanofibras, usos potenciales y áreas predominantes, también es necesario contar con una

representación gráfica que facilite la visualización de ésta información, dicha tarea es posible a través de un mapa tecnológico.

El hacer la representación gráfica de los datos numéricos también implica usar algún método para identificar las clases o grupos que se interrelacionan y facilitar la obtención de información, considerando que habrá una gran cantidad de elementos plasmados en el plano. Los mapas autoorganizados se caracterizan por identificar los rasgos, correlaciones o similitudes que tienen en común los datos de entrada, valiéndose del aprendizaje profundo (*deep learning*, en inglés) por el uso de redes neuronales que deben autoorganizarse en función de los estímulos o datos que proceden del exterior (Kohonen, 1982), motivo por el cual resultan ser la opción más atractiva.

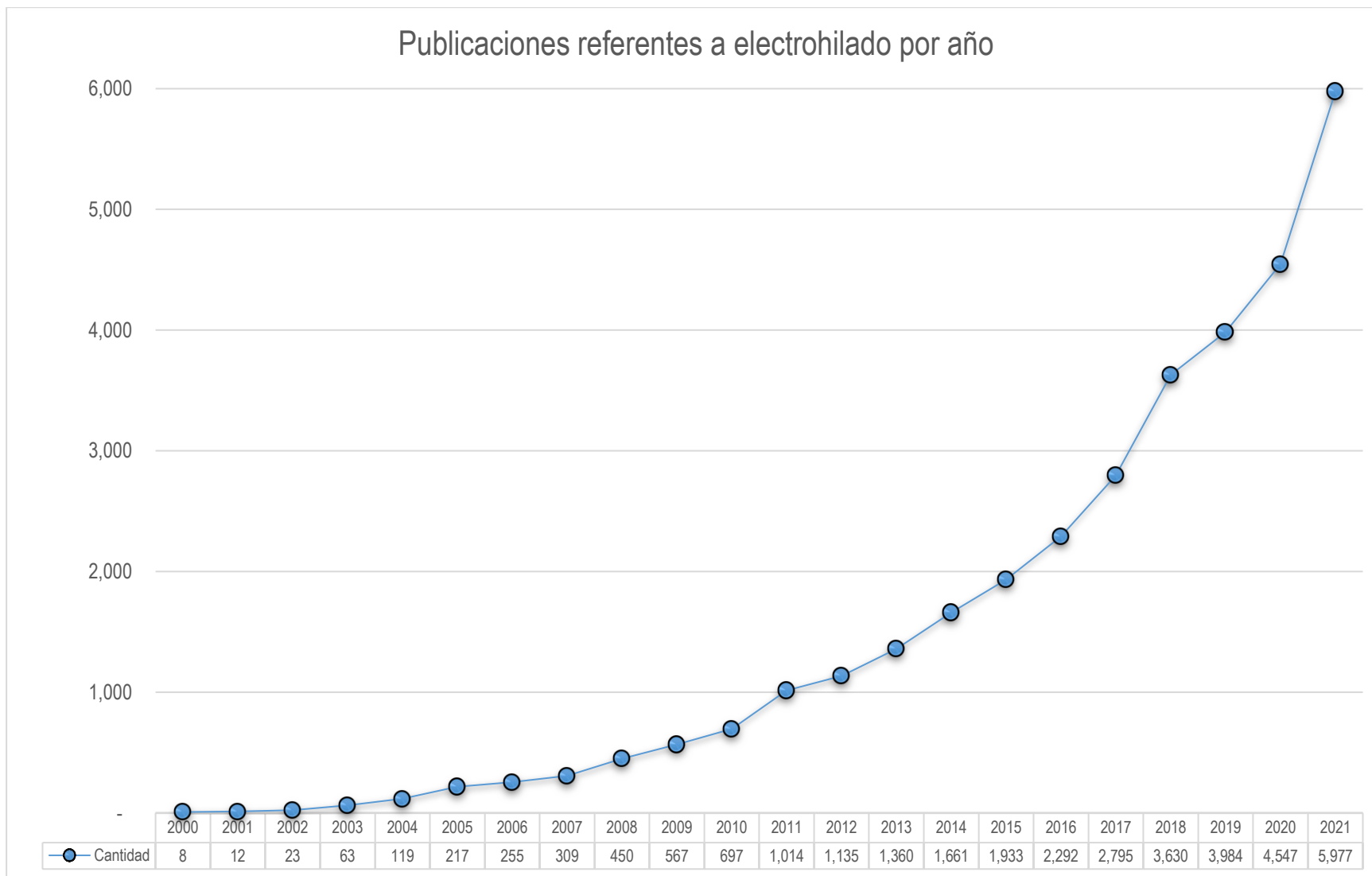


Figura 11 Publicaciones referentes a electrohilado por año, Fuente: *ScienceDirect*

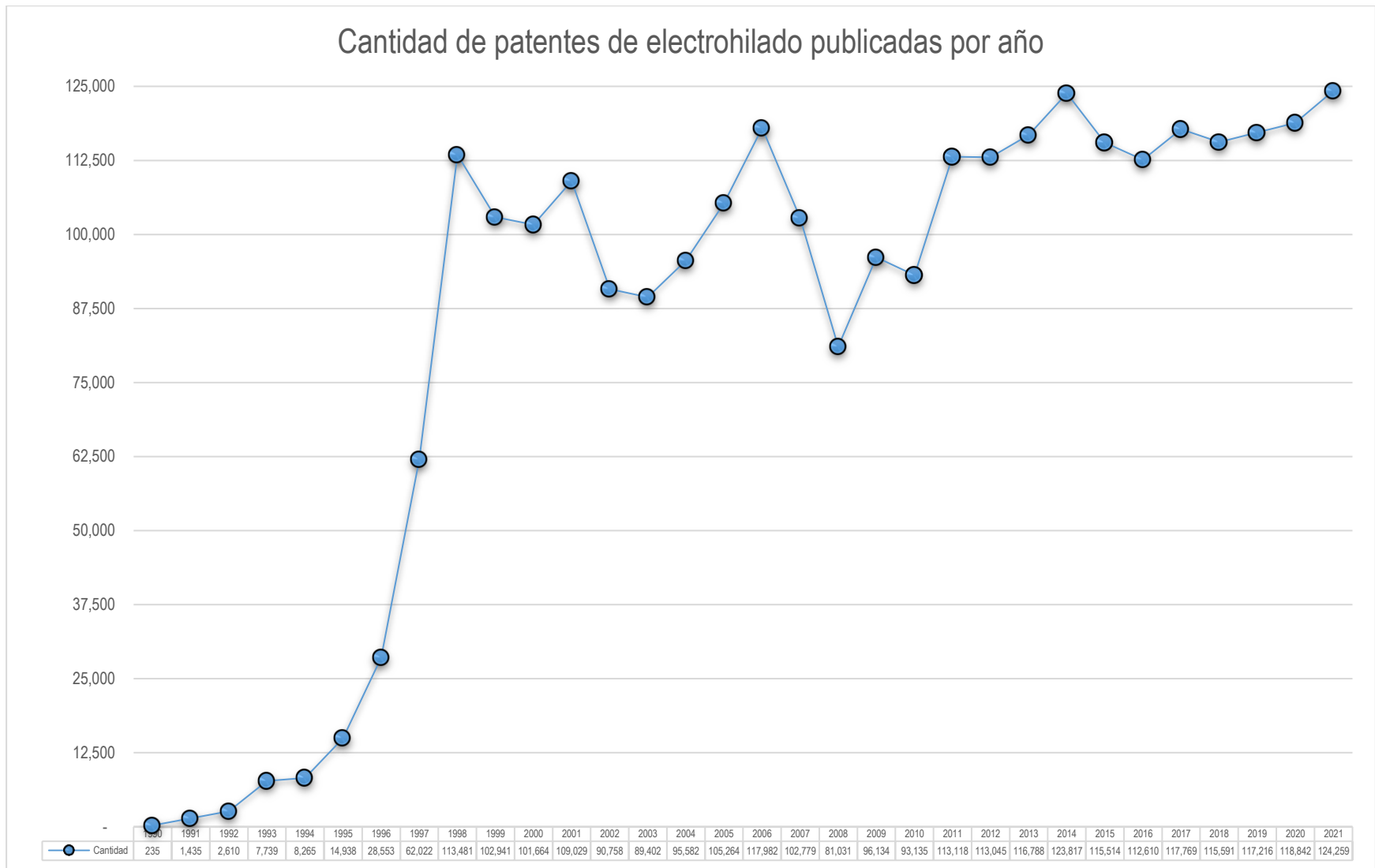


Figura 12 Patentes de electrohilado publicadas por año, Fuente: *Patentscope*



### **3.2 Etapa 2: Análisis de la tecnología disponible**

Una vez que se haya concluido la primera etapa correspondiente al análisis del entorno externo y la tecnología, se procederá con un análisis para determinar el nivel de competitividad y potencial tecnológico que la técnica posee, por medio de la determinación del punto en el que se encuentra la tecnología según su ciclo de vida y un estudio de prospectiva tecnológica.

El estudio de prospectiva tecnológica considerará los datos obtenidos en la primera etapa, con la finalidad de aplicar una herramienta de carácter exploratorio, para esto se propone hacer comparaciones entre patentes y artículos científicos mediante árboles de decisión o *RandomForest*, esta es otra herramienta de inteligencia artificial que se sugiere en el proyecto, con la finalidad de poder delimitar aún más el área de aplicación y las propiedades que muestran las nanofibras, para identificar un común denominador.

Con la identificación del área, materiales y propiedades será posible perfilar el mercado donde existen más posibilidades para incursionar, el estudio se complementa con otro método de prospectiva pero en esta ocasión de carácter normativo, mediante el método de mínimos cuadrados recursivos se hará una estimación de los materiales que serán de mayor interés para la comunidad científica en la próxima década.

### **3.3 Etapa 3: Estrategias para la Gestión Tecnológica**

Con los análisis previos será posible plantear un escenario, la tercera etapa se centra en generar un conjunto de estrategias que hagan posible alcanzarlo, desde las actividades de investigación y desarrollo, la habilitación de la tecnología y los recursos necesarios para su ejecución, además, este conjunto de estrategias considerará situaciones como la protección del patrimonio tecnológico, en caso de haber generado innovaciones que requieran la obtención de títulos de propiedad intelectual, todo este proceso evolutivo de la tecnología que se tiene en este momento disponible se resume en un plan tecnológico.

La culminación del proyecto se da con la creación de un *roadmap* o mapa de ruta con un enfoque tecnológico, en este quedará plasmada la gestión del plan tecnológico, mercado objetivo, estrategias, desarrollo de productos, avances tecnológicos, así como procesos de innovación y desarrollo.

## Capítulo 4 Resultados

El objetivo de este capítulo es exponer y describir los datos obtenidos en cada una de las etapas en que está dividida la investigación, partiendo desde el análisis de documentos de carácter científico, patentes y productos, para establecer un área de aplicación puntualizando cuáles serían los posibles materiales empleados, el creciente interés en estos y el incremento de las necesidades humanas que será preciso atender a través de una serie de proyecciones al año 2030, lo que permite sentar las bases para establecer criterios y planear a largo plazo.

### 4.1 Etapa 1: Mapeo y Vigilancia Tecnológica

#### 4.1.1 Análisis de textos científicos

Se realizó un muestreo de artículos científicos publicados en el periodo 2019 – 2021, cuya información concentra datos referentes a usos potenciales de las nanofibras en diferentes disciplinas. Con el fin de efectuar un análisis de los usos y aplicaciones que tienen las nanofibras, así como conocer las áreas que predominan, para esto se desarrolla una base de datos que permitirá identificar las relaciones entre diversas aplicaciones. Las etapas que conforman la metodología para el mapeo se indican en la Figura 13:



Figura 13 Metodología utilizada

##### 4.1.1.1 Base de Datos

La información a utilizar en la investigación se obtuvo de fuentes formales, artículos publicados en revistas científicas (*Journals*) correspondientes a los años 2019, 2020 y 2021 (éste último hasta el mes de septiembre), que fueron identificados por medio de la plataforma *ScienceDirect*, haciendo uso de los términos electrohilado y nanofibras electrohiladas funcionales, en inglés *electrospinning*, *electrospun nanofibers funtional*.

Los datos relevantes de cada artículo fueron obtenidos tomando en consideración el título, palabras clave y resumen, dado que estos apartados son de libre acceso en la mayoría de las bases de datos en línea, en comparación con el documento completo que suele estar restringido debido al costo.

#### 4.1.1.2 Selección de Conjunto de Datos

Al realizar la búsqueda de textos científicos, se observó que en los últimos 3 años la cantidad de artículos de investigación y de revisión que contienen los términos ya mencionados superan las 3,800 publicaciones, por lo cual se hace uso de la técnica de muestreo y la fórmula siguiente para calcular el tamaño de la muestra por año (Pérez-López, 2006):

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_a^2 * p * q}$$

dónde:

N= Total de la población (artículos de investigación y de revisión publicados por año)

$Z_a^2 = 1.96^2$  Valor de Z en la distribución normal estándar para una seguridad del 95%)

p = Proporción esperada (cantidad de artículos de investigación)

q = 1-p (Cantidad de artículos de revisión)

d = Precisión (en este caso se considera un error del 5%)

Una vez realizados los cálculos correspondientes fue posible identificar los 3 tamaños de muestra necesarios, que en conjunto sumaron un total de 731 artículos (ver Tabla 1), los cuales fueron recopilados por medio de un muestreo aleatorio simple.

**Tabla 1 Valores utilizados para el cálculo de tamaños de muestra.**

Año	N	Tipo de Artículo		p	q	n
		Investigación	Revisión			
<b>2019</b>	1025	765	260	0.746	0.254	226.8 $\cong$ 227
<b>2020</b>	1282	964	318	0.752	0.248	234.4 $\cong$ 235
<b>2021</b>	1509	1047	462	0.694	0.306	268.5 $\cong$ 269

La información que constituye la base de datos considera nombre de la revista, factor de impacto, número de veces que ha sido citado el artículo, nacionalidad de los 3 primeros autores, institución de procedencia (universidad, instituto, centro especializado o industria) y el uso o aplicación que se le da a las nanofibras.

En la Figura 14 se muestra la información inicial obtenida del muestreo en donde se analizan pares entre las categorías iniciales, para empezar a determinar posibles características en

común, sin embargo, al ser un problema multivariante, es aquí donde surge la necesidad de un método simple y sencillo de aplicar con la finalidad de reducir la dimensionalidad y clasificar la información para poder ser procesada posteriormente, así mismo, el mecanismo de aprendizaje automático implementado, será útil si más adelante se agrega más información, ya que al estar entrenada la red, solo tendrá que evaluar la información nueva y clasificarla en relación a los pesos y valores optimizados ya calculados, por lo que, llevaría muy poco tiempo realizarlo, además de que sería más fácil identificar a los nuevos individuos, las posibles relaciones o características comunes con los datos iniciales.

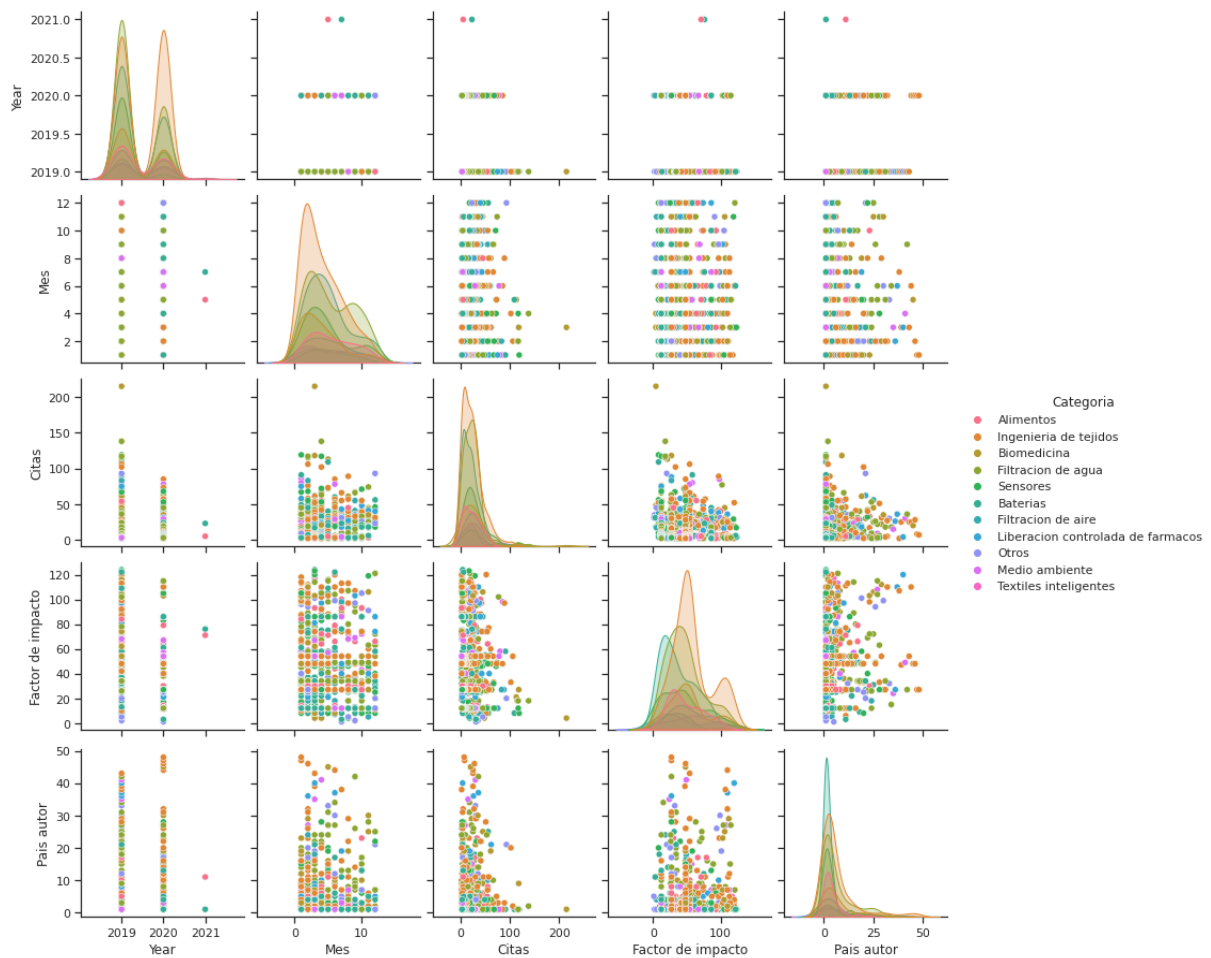


Figura 14 Gráfica de pares multivariante de los datos de entrada

#### 4.1.1.3 Normalización y Limpieza de Datos

Primeramente se parte del concepto inicial de dimensión, que no es más que la cantidad de atributos que poseen los datos de entrada, estas pueden ser características como el tipo de revista, el factor de impacto, la nacionalidad de los autores, entre otras. Con frecuencia los

datos de entrada de un problema tipo, son datos multidimensionales en donde dicha información está sin procesar y no hay una relevancia predefinida sobre estos atributos, motivo por el cual se suele utilizar inicialmente una especie de filtro que decida qué atributos son más relevantes y los agrupe de forma acorde con ellos. Ésta es precisamente la finalidad de los mapas autoorganizados, mapear un espacio de alta dimensionalidad a otro de menor dimensión.

La primera actividad que se realizó fue la normalización de estos datos entre valores de 0 y 1 (Pham y Liu, 2012) para posteriormente ser analizados por la etapa de entrenamiento de la red.

$$Señal\_Norm = \frac{2 * (Dato - \min Val)}{(MaxVal - \min Val) - 1}$$

#### 4.1.1.4 Diseño y Modelación Matemática

Kohonen (1982) señala que la principal diferencia entra la mayoría de topologías clásicas de las redes neuronales artificiales, es que las neuronas de un mapa autoorganizado, están agrupadas normalmente en un espacio bidimensional, por lo que se organizan en una cuadrícula o malla, cada neurona tiene unos pesos asociados, donde parte de un valor cero y después se inicializan de forma aleatoria (ver Figura 15) utilizando una distribución estándar uniforme (media=0 y desviación estándar =  $\sqrt{2}/n$ , donde n es la longitud del vector de datos u observaciones).

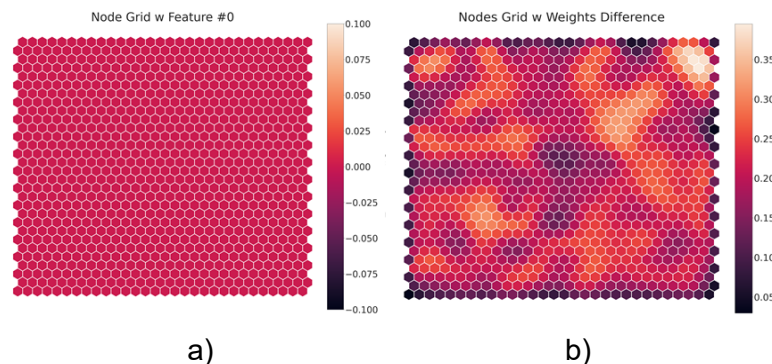


Figura 15 Malla de neuronas del mapa autoorganizado

Estos valores asociados o pesos, son los factores que determinan que tan fuerte o débil es la conexión entre ellas, sin embargo para ajustar a los valores óptimos los pesos, se procede a un proceso de entrenamiento, mediante el cual las neuronas ajustan sus pesos, el objetivo de esto es que, ante un nuevo dato de entrada que sea similar a otros ya conocidos, la red responda de forma parecida a la información antes clasificada. Dicho entrenamiento es un

proceso iterativo con muchas iteraciones y una gran cantidad de datos que se van actualizando en el proceso, al final de cada iteración del entrenamiento, se calcula el error mediante una función denominada “Función de pérdida”, el objetivo es, mediante el aprendizaje de la red, minimizar esta función (Kohonen, 1982).

Otro parámetro importante es la tasa de aprendizaje, el cual determina a qué velocidad se realiza el aprendizaje, por lo cual tiene cierto compromiso entre una buena precisión y rapidez, valores pequeños implican un aprendizaje lento pero seguro, valores altos suelen llevar a inestabilidades y resultados erróneos (Kohonen, 1982). Este puede ser un valor constante o variable, la fórmula para evaluar el segundo caso es la siguiente:

$$n(t) = n_0 * e^{\left(\frac{-t}{t_L}\right)}$$

dónde:

n = es la tasa de aprendizaje a lo largo la iteración (t)

n<sub>0</sub> = es la tasa de aprendizaje al inicio

t<sub>L</sub> = velocidad a la que decrece la tasa de aprendizaje

La parte del entrenamiento Kohonen (1982) la sintetiza de la siguiente forma:

1. Presentar un dato  $x^q$  como entrada al mapa autoorganizado.
2. Determinar la neurona ganadora, la cual es aquella cuyo vector de pesos es más similar al vector con los datos de entrada, mediante la siguiente fórmula:

$$i^* = \arg(\min \|w_i - x^q\|)$$

dónde:

$\|w_i - x^q\|$  = norma euclídea de la diferencia entre el vector de pesos y el vector de datos de entrada

3. Actualizar los pesos:

$$\Delta w_{ij} = n \Lambda(i, i^*, t) (x_j^q - w_{ij})$$

dónde:

$w_{ij}$  = Peso asociado al atributo “j” de la neurona “i”

n = tasa de aprendizaje

$x_j^q$  = Atributo j del vector de datos  $x^q$

$\Delta$  = Función de proximidad lambda

Los efectos en el aprendizaje de la función de proximidad, es que, cuanto más cerca está una neurona de la ganadora, ésta más modifica sus pesos, por lo que hay un mayor aprendizaje.

$$\Lambda(i, i^*, t) = e^{-\left(\frac{\|r_i - r_{i^*}\|^2}{2\sigma^2(t)}\right)}$$

dónde:

$\|r_i - r_{i^*}\|$  = es la distancia de cada neurona  $r_{i^*}$  a la neurona ganadora  $r_i$

$\sigma(t)$  = velocidad a la que decrece la función de proximidad

El método de convergencia parte de evaluar la tasa de aprendizaje e ir minimizando el error, sin embargo para evitar que el algoritmo itere de forma infinita, otro parámetro que se suele usar es un número máximo de épocas a simular, donde una época es cada ciclo de corrección y actualización de los pesos para reducir la pérdida o diferencia entre los valores obtenidos por el entrenamiento y los datos reales (Kohonen, 1982).

#### 4.1.1.5 Procesamiento

Como se puede observar en la Figura 16, el área de aplicación predominante obedece a temas relacionados con cuestiones de salud, (aplicaciones en biomedicina, ingeniería de tejidos y liberación controlada de fármacos), donde los artículos considerados en el muestreo demuestran tener una mayor similitud.

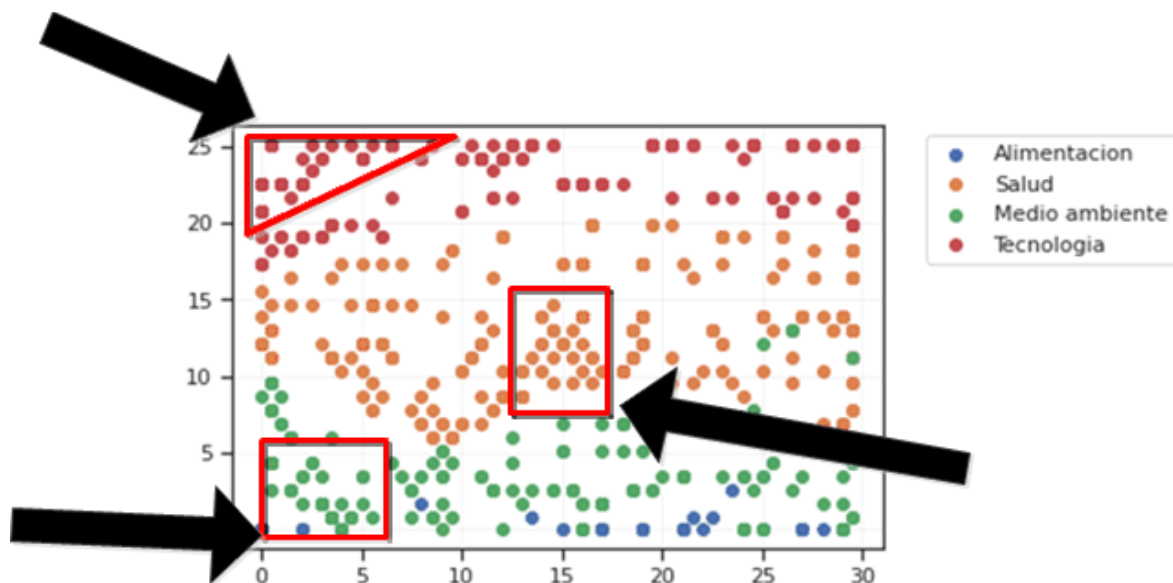


Figura 16 Agrupamiento y clasificación de la información mediante el mapa autoorganizado

Los datos usados para la simulación fueron: una tasa de aprendizaje del 0.1 y un total de 5000 épocas, los demás parámetros mencionados en las etapas anteriores se inicializaron de forma aleatoria con una distribución normal de media 1 y desviación estándar  $\sqrt{2}/n$ .

La analogía utilizada para interpretar los resultados obtenidos por el mapa autoorganizado mostrado en la imagen anterior fue el siguiente, primero se identificaron aquellos elementos que, aunque no se visualiza, tienen un número Id, el cual se identificó y se analizó para ver el motivo del agrupamiento, encontrando posibles características en común, ya sea entre elementos de la misma categoría o elementos circundantes entre los límites de dichas categorías.

Esto simplifica demasiado el manejo de todos los datos iniciales, como ya se mencionó antes, al reducir la dimensionalidad del problema, es más sencillo ya que al encontrar un subconjunto de las variables originales, extrae de forma más simple las características de los datos de alta dimensión en el espacio a uno de menor dimensión y esto es una práctica común entre la gente que analiza grandes cantidades de información, a esta área se le denomina *Data Science* o ciencia de datos.

En lo que corresponde a la nacionalidad de los autores, se identificaron 64 países diferentes y 696 colaboraciones, siendo China el lugar donde se originan el mayor número de publicaciones, seguido de Irán e India (ver Figura 17):



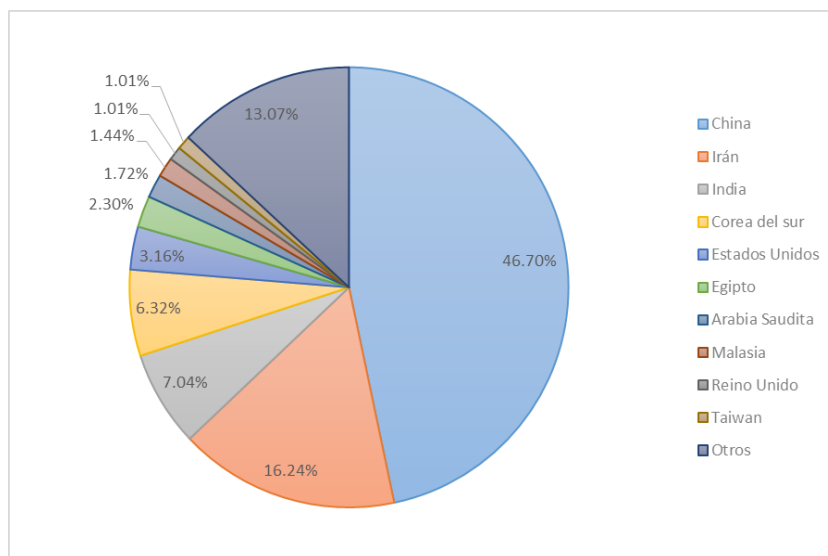


Figura 17 Países con mayor número de publicaciones.

De manera similar, se identificaron 124 revistas diferentes, donde los rasgos principales a tener en cuenta son: el factor de impacto (ver Tabla 2) y el número de artículos presentes en cada revista (ver Tabla 3).

Tabla 2 Las 10 revistas con factor de impacto más alto.

<b>No.</b>	<b>Revista</b>	<b>Factor de impacto</b>	<b>Artículos</b>
1	Progress in Materials Science	39.58	1
2	Materials Today	31.041	1
3	Progress in Energy and Combustion Science	29.394	1
4	Progress in Polymer Science	29.19	3
5	Coordination Chemistry Reviews	22.315	2
6	Trends in Biotechnology	19.536	1
7	Applied Catalysis B: Environmental	19.503	1
8	Nano Energy	17.881	18
9	Energy Storage Materials	17.789	6
10	Advanced Drug Delivery Reviews	15.47	1

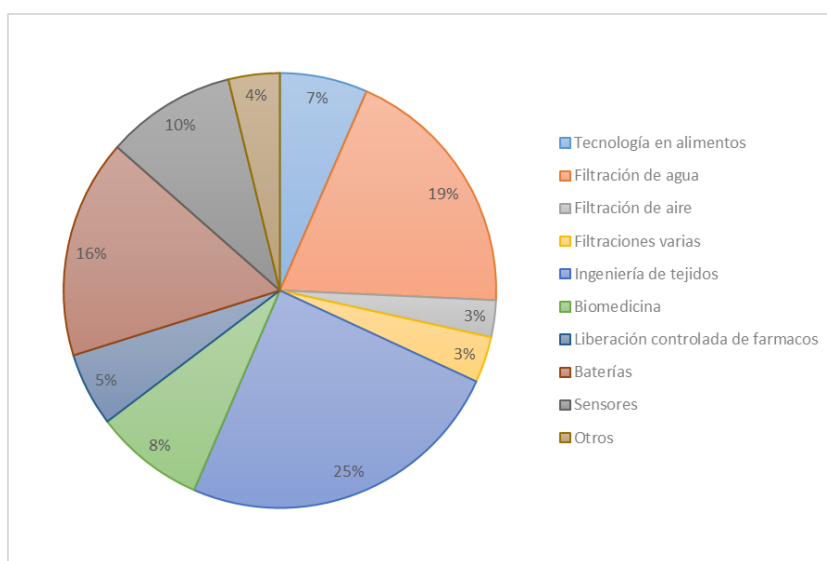
Se puede observar que a pesar de ser una cantidad pequeña (35 artículos), las publicaciones realizadas se encuentran en revistas cuya importancia en el campo científico es muy alta.

**Tabla 3 Las 10 revistas con mayor número de artículos.**

<b>No.</b>	<b>Revista</b>	<b>Factor de impacto</b>	<b>Artículos</b>
1	Chemical Engineering Journal	13.273	70
2	International Journal of Biological Macromolecules	6.953	67
3	Materials Science and Engineering: C	7.328	61
4	Carbohydrate Polymers	9.381	48
5	Journal of Membrane Science	8.742	29
6	Separation and Purification Technology	7.312	28
7	Journal of Alloys and Compounds	5.316	20
8	Nano Energy	17.881	18
9	Journal of Colloid and Interface Science	8.128	18
10	Sensors and Actuators B: Chemical	7.46	17

De igual forma, las 10 revistas con mayor cantidad de artículos relacionados con nanofibras funcionales representan un poco más del 50% del total de las muestras.

Con respecto al contenido de los textos científicos, el comportamiento que tenían los datos al inicio del análisis muestra una mayor inclinación por aplicaciones de ingeniería de tejidos con un 25%, seguida de filtración de agua con el 19% y componentes para baterías con el 16% (ver Figura 18).



**Figura 18 Temas más citados**

Después de haber utilizado el mapa autoorganizado, la información se redujo a 4 áreas principales de aplicación (ver Figura 19), donde de manera general se observa que las aplicaciones relacionadas con los temas de salud son las que predominan en el interés de los investigadores, seguido de componentes tecnológicos (como electrodos para supercapacitores, membranas, sensores, electrocatalizadores, textiles inteligentes, celdas de combustible) y el cuidado del medio ambiente.

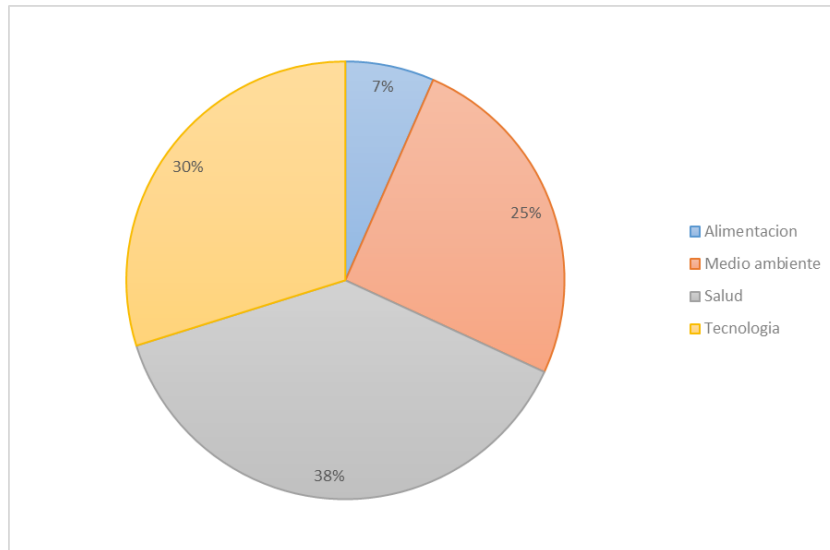


Figura 19 Áreas de aplicación predominantes

### 4.1.2 Análisis de patentes

A diferencia de los textos científicos, las patentes cuentan con una clasificación internacional, la cual es empleada por más de 100 países, que a grandes rasgos se conforma de 7 grupos o categorías identificadas por las letras A, B, C, D, E, F, G, y estas a su vez tienen subgrupos que se pueden identificar por 2 dígitos, dentro de estos subgrupos existen otros apartados que tienen un esquema similar para puntualizar todavía más el uso o aplicación que tiene la patente. En la Tabla 4 se observa cómo están distribuidas las solicitudes de patentes que fueron publicadas entre enero de 2019 y mediados de octubre de 2021, (se consideraron 5,929 patentes en una búsqueda simple en *Patentscope*), donde la atención de necesidades humanas encabeza la lista.

**Tabla 4 Número de patentes identificadas por grupo**

<i>Grupo</i>	<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Porcentaje</i>
<b>A</b>	Necesidades Humanas	2288	38.59%
<b>D</b>	Textiles; Papel	976	16.46%
<b>B</b>	Técnicas Industriales Diversas; Transportes	843	14.22%
<b>H</b>	Electricidad	786	13.26%
<b>C</b>	Química; Metalurgia	742	12.51%
<b>G</b>	Física	254	4.28%
<b>F</b>	Mecánica; Iluminación; Calefacción; Armamento; Voladura	29	0.49%

Tratando de puntualizar un poco más, en la Tabla 5 se mencionan los 10 subgrupos donde existe un mayor número de patentes. Se puede apreciar que las tendencias son similares a las de los textos científicos, predominan las aplicaciones en ciencias médicas.

**Tabla 5 Los 10 subgrupos con mayor número de patentes**

<i>Subgrupo</i>	<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Porcentaje</i>
<b>A61</b>	Ciencia médica o veterinaria; higiene	2100	35.42%
<b>H01</b>	Elementos eléctricos básicos	715	12.06%
<b>D01</b>	Hilos o fibras naturales o hechas por el hombre; hilado	668	11.27%
<b>B01</b>	Procesos o aparatos físicos o químicos en general	530	8.94%
<b>C08</b>	Compuestos macromoleculares orgánicos; su preparación o tratamiento químico; composiciones a base de él	242	4.08%
<b>D04</b>	Trenza; fabricación de encajes; tejido de punto; recortes; telas no tejidas	209	3.53%
<b>C12</b>	Bioquímica; cerveza; vino; vinagre; microbiología; enzimología; ingeniería genética o mutación	178	3.00%
<b>G01</b>	Medición; pruebas	167	2.82%
<b>B32</b>	Productos en capas	102	1.72%
<b>B29</b>	Trabajo de plásticos; trabajo de sustancias en un estado plástico en general	82	1.38%

Hasta este punto es posible corroborar que tanto en la parte científica como en la tecnológica sí existe una tendencia por producir nanofibras electrohiladas funcionales que sean utilizadas para dar atención a las necesidades de salud de la población.

De manera adicional, fue posible identificar a los grupos de investigación nacionales, en la Tabla 6 se hace mención de los 5 registros que fueron realizados a nombre de instituciones educativas, con la intención de contrastar si sus intereses son similares al del resto de las instancias que han sido para el análisis.

**Tabla 6 Registros de patentes de instituciones educativas mexicanas**

Fecha de publicación	Lugar	Año	Grupo	No. Solicitud	Solicitante	Título
08.02.2019	MX	2019	D01	MX2017008661	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	Películas a partir de nanofibras electrohiladas de PVA y aceite de oliva para su aplicación en la industria frutícola.
08.02.2019	MX	2019	A61	MX2017009191	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	Mascarilla hidratante con antioxidantes elaborada a partir de nanofibras de gelatina tipo a y alfa-tocoferol.
13.09.2019	MX	2019	D04	MX2018003083	Secretaría de Educación Pública - Tecnológico Nacional de México - IT Celaya	Aparato de electrohilado para fabricar materiales no tejidos de micro y nanofibras de polímero.
06.01.2020	MX	2020	A61	MX2018008242	Instituto Politécnico Nacional	Nanofibras de aplicación farmacológica para el tratamiento de lesiones cutáneas.
10.06.2021	WO	2021	G01	WO2021112660	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Kit y dispositivo cilíndrico para la detección de un agente infeccioso

Con la información obtenida de las patentes analizadas se conformó una base de datos, enfocada al análisis de publicaciones pertenecientes al rubro A61, ciencia médica o veterinaria e higiene, donde los principales campos a considerar fueron:

- Materiales de los que se componen las nanofibras.
- Áreas de aplicación o necesidades atendidas.
- Propiedades de las nanofibras.

En la Tabla 7 se hace mención de los atributos que más se observaron, los cuales serán contrastados con la información que se tiene en cuanto a la producción científica y usos similares para el desarrollo de la etapa 2 referente a la tecnología disponible.

**Tabla 7 Principales aplicaciones y atributos de nanofibras patentadas**

Áreas de aplicación	Materiales (polímeros)	Propiedades
Biomedicina	Quitosano	
Regeneración de tejido	Policaprolactona, PCL	
Cicatrización de heridas	Acetato de polivinilo, PVA	Antimicrobianas
Liberación controlada de fármacos	Ácido poliláctico, PLA	Antibacterianas
Injertos	Gelatina	Antiadhesivas
Implantes	Celulosa	
Tratamientos para el cáncer, diabetes	Poliuretano, PU	
Tratamientos de la piel	Ácido hialurónico	

### 4.1.3 Productos identificados

Además del análisis de textos científicos y patentes, también se hizo una búsqueda de productos que tuvieran dentro de sus componentes nanofibras electrohiladas, con la finalidad de corroborar en este momento cuáles son los mercados que ya cuentan con algún beneficio de esta tecnología. Fue posible identificar 31 productos diferentes, (ver Figura 20) donde los usos y necesidades atendidas son: filtración de aire, mascarillas, filtros de agua, biomedicina e ingeniería de tejidos. A continuación se listan los productos y compañías identificados.

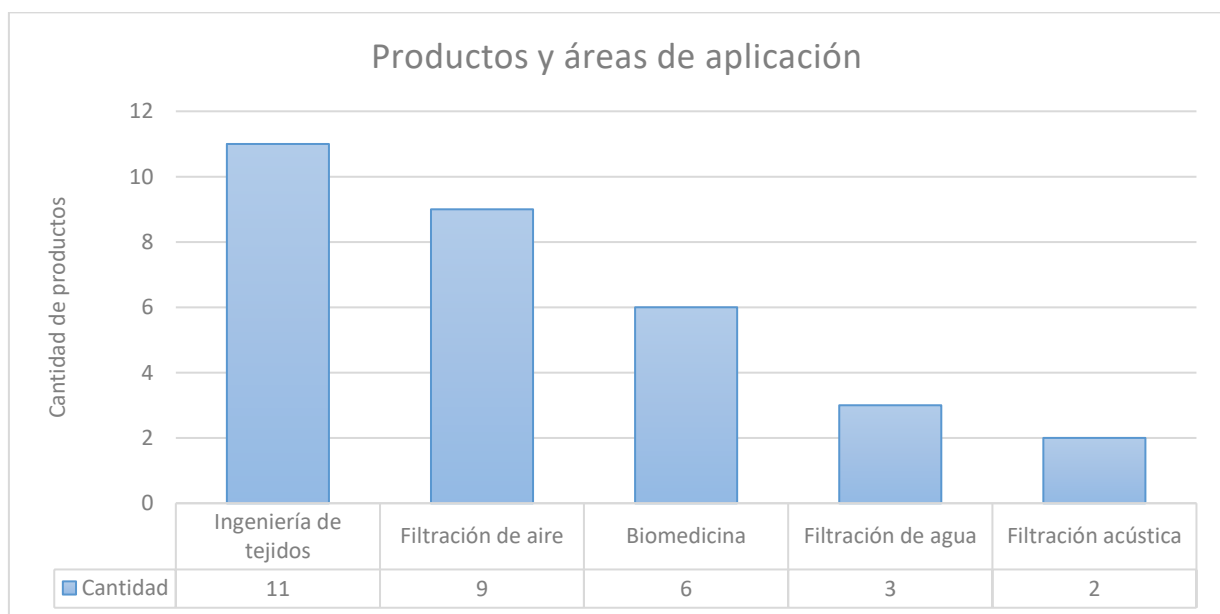


Figura 20 Productos identificados según su área de aplicación

La tecnología que se tiene disponible para filtración de aire atiende principalmente dos tipos de mercado: el de los inmuebles y vehículos comerciales (ver Tabla 8).

**Tabla 8 Productos para filtración de aire.**

Nombre del producto	Compañía	País	Descripción
Exceed	eSpin Technologies	Estados Unidos	Filtros de edificios residenciales, comerciales, industriales
SETA diffuser filters	HRV	Nueva Zelanda	Filtros biodegradables y antibacterianos para capturar partículas microscópicas
FylterLayr	NANOLAYR	Nueva Zelanda	Filtros con aditivos activos para atrapar y neutralizar partículas más pequeñas en el aire, permitiendo excelentes tasas de flujo de aire.
Micrograde NF filter	MANN-HUMMEL	Alemania	Filtros de aire con una capa de nanofibras poliméricas para vehículos comerciales
ProTura nanofiber	United Air Specialists	Estados Unidos	Filtros a base de celulosa con una capa superficial compuesta de nanofibras

Otro tipo de filtros identificados sirven para mascarillas, filtración de agua e incluso para el control de sonido (ver Tabla 9).

**Tabla 9 Productos para filtración de agua, mascarillas y otros**

Nombre del producto	Compañía	País	Descripción
ZN 8848 facemask	CHnano	China	Nanofibras para mascarilla
Smart Mask	NASK	Japón	
Inofilter	Inovenso	Turquía	
Nanotrap filter	Coway	Malasia	Filtros de agua compuestos por nanofibras para reducir los desechos celulares, virus, bacterias, etc.
Naked filter	Liquidity Corp.	Estados Unidos	Nanofibras para filtrar agua y matar bacterias
Filter nanofiber	AstralPool	España	Nanofibras autolimpiantes para piscinas
FERENA	Koken	Japón	Unidad de filtrado a base de nanofibras utilizada en zona súper limpia, espacios blancos
Return focus pod	IQ Commercial	Nueva Zelanda	Miles de capas de nanofibras Phonix en un compuesto para servir como sustrato acústico (mobiliario)
SonoLayr	NANOLAYR	Nueva Zelanda	Nanofibras para mejorar el rendimiento acústico de productos de control de sonido.

En concordancia con los hallazgos que ya han sido reportados, las necesidades en el campo de la medicina son las que cuentan con más opciones de productos que ya contienen nanofibras electrohiladas, como es el caso de la biomedicina, la ingeniería de tejidos y cultivos celulares (ver Tabla 10). Incluso se puede observar la presencia de algunos de los polímeros que ya habían sido identificados previamente en los registros de patentes, como: ácido poliláctico (PLA), policaprolactona (PCL), poliuretano (PU) y gelatina.

**Tabla 10 Productos para usos en biomedicina, ingeniería de tejidos y cultivos celulares**

Nombre del producto	Compañía	País	Descripción
Papyrus, coronary balloon-expandable stent systems	BIOTRONIK	Alemania	Nanofibras de poliuretano electrohiladas para cubrir la superficie de un único stent
Cytoweb sheets	eSpin Technologies	Estados Unidos	Esteras a base de nanofibras de PLGA, PLA, PCL, poliuretano y nanofibras de carbón o carbón activado, para aplicaciones biomédicas
ReDura	MEDPRIN	Alemania	Nanofibras hechas de PLA como sustituto de la duramadre para reparar la duramadre defectuosa y evitar la adhesión con los tejidos circundantes
NeoDura			Nanofibras compuestas (mezcla de materiales sintéticos y gelatina) como un parche de reparación dural absorbible para evitar la adhesión entre el tejido cerebral y el cráneo
AVflo vascular access graft	Nicast	Reino Unido	Nanofibras de uretano de policarbonato de grado médico como injerto de acceso vascular (para pacientes con hemodiálisis)
SpinCare		Apósito para heridas producido in situ para reparar cualquier forma de herida	
XantuLayr	NanoLayr	Nueva Zelanda	Velo de refuerzo interlaminar de nanofibras termoplásticas resistentes, para mejorar el rendimiento de materiales compuestos.
3D insert	3D Biotek	Estados Unidos	Andamios 3D hechos de PS, PCL o PLGA para cultivo celular
Mimetix	Electrospinning Company	Reino Unido	Andamios compuestos de nanofibras alineadas o aleatorias para cultivo celular en placas de 384, 96 o 12 pocillos, así como insertos de células corona en placas de 6, 12 o 24 pocillos
Nanofibers Plates	Nanofiber Solutions	Estados Unidos	Andamios y nanofibras poliméricas degradables o no degradables alineadas integradas en placas estándar para cultivo celular de alto rendimiento, investigación del cáncer, células madre y medicina regenerativa
Nanofiber Chamber Slides			
Nanofiber Dishes			
Nanofiber Plate Inserts			
Custom 3D Scaffolds			
NanoCare			
NanoWhiskers			
Silk fibroin tubular scaffold, flat sheet scaffold, disc	SKE Advanced Therapies	Italia	Andamios de disco, hoja plana y tubulares electrohilados hechos de fibroína de seda para cultivo celular en 3D e ingeniería de tejidos



## 4.2 Etapa 2: Análisis de la tecnología disponible

Como parte de la segunda etapa se procede a analizar el comportamiento que han tenido de forma más específica las publicaciones de patentes referentes al área de atención de necesidades humanas en el subgrupo de ciencias médicas, veterinaria e higiene (ver Figura 21), donde el periodo comprendido para el estudio corresponde a los últimos 3 años, por ser el momento donde se ha evidenciado una mayor productividad o incremento en el número de patentes.

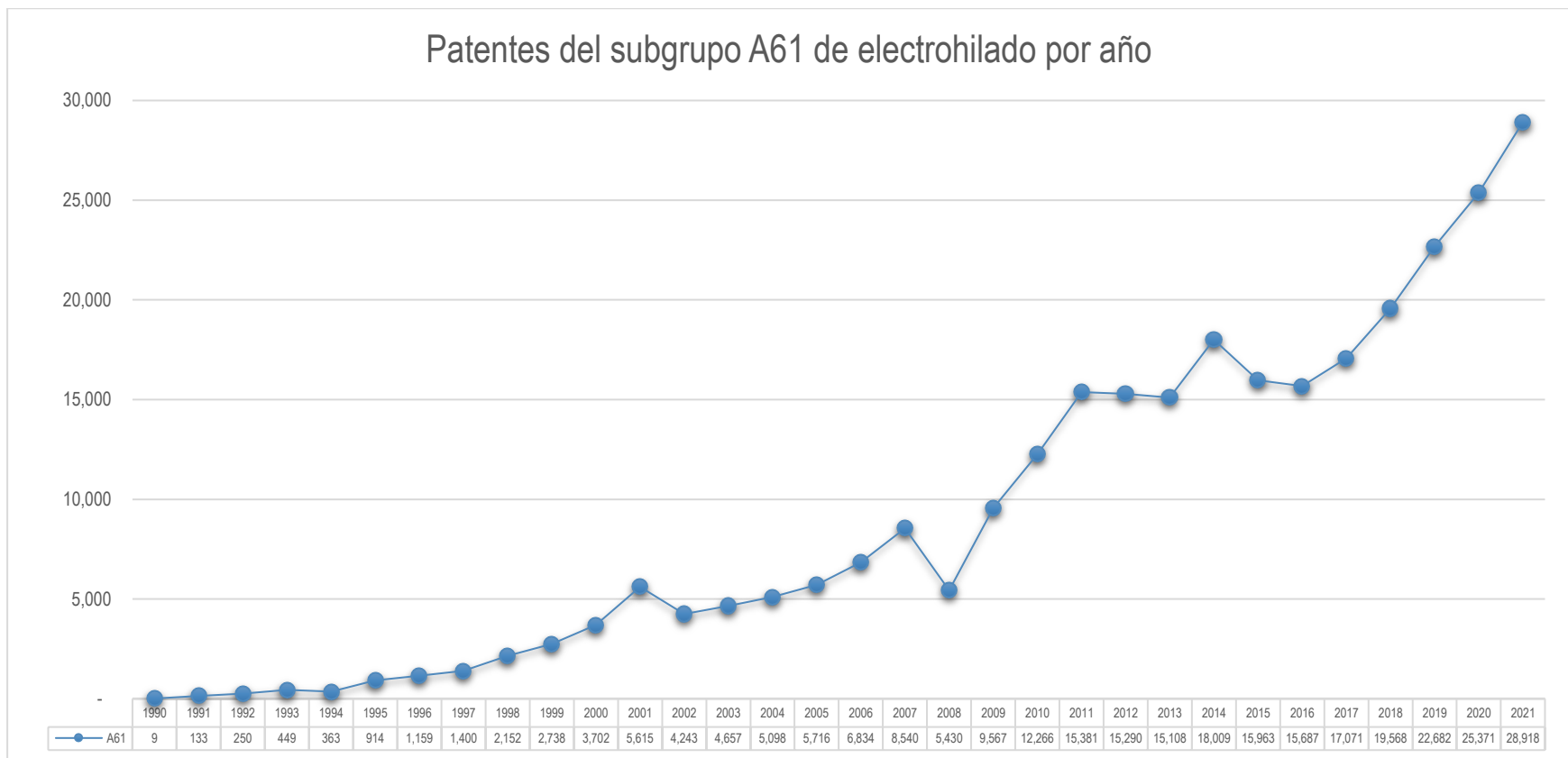


Figura 21 Patentes de electrohilado del subgrupo A61 publicadas por año, Fuente: Patentscope

Para el análisis se toman en consideración de manera principal la información obtenida en la Tabla 7 Principales aplicaciones y atributos de nanofibras patentadas”, con la finalidad de visualizar un patrón en cuanto a los usos y aplicaciones de las nanofibras, materiales y propiedades que pueden presentarse en un futuro, se desarrollaron 11 árboles de decisión, a continuación se muestran los 3 más significativos (ver Figura 22, Figura 23 y Figura 24), donde se observa los polímeros con mayores probabilidades de ser empleados en las áreas de regeneración de tejido, tratamiento o cuidado de heridas, así como aquellos donde se puede presentar una propiedad antibacteriana.

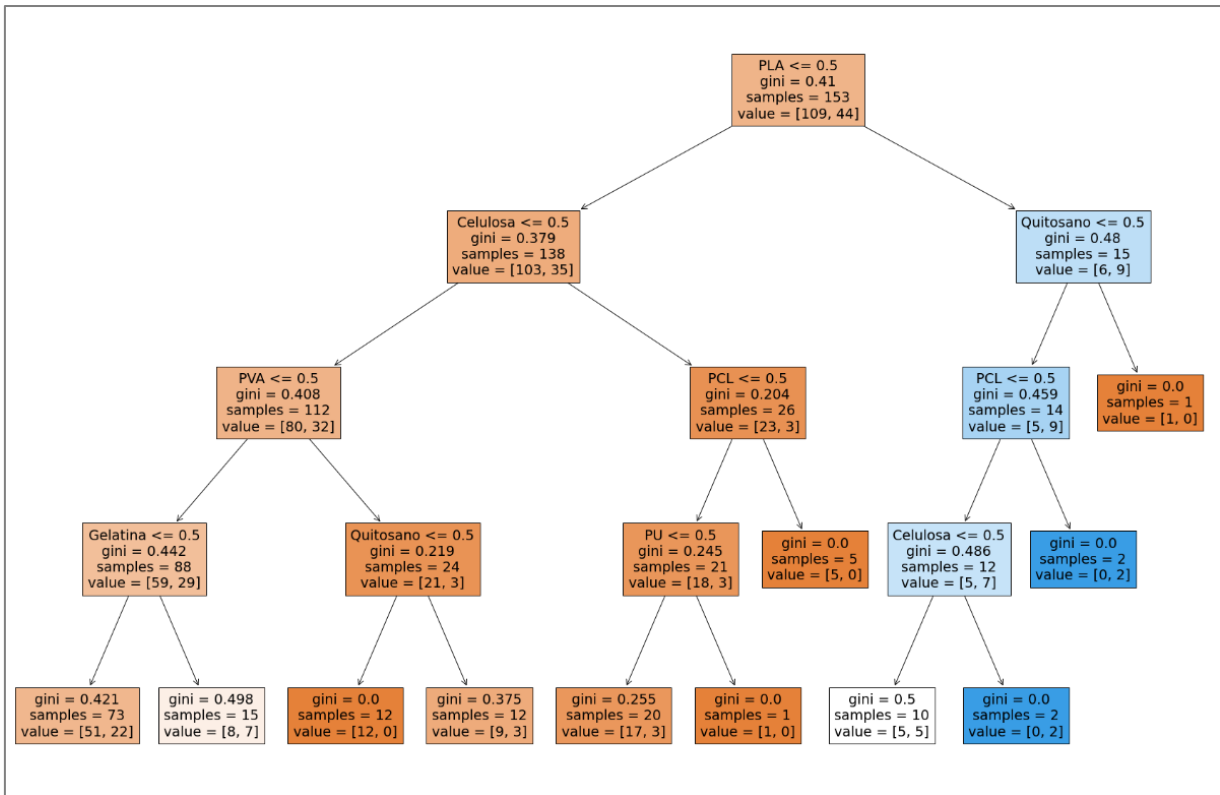


Figura 22 Árbol de decisión de regeneración de tejido

El árbol de decisión correspondiente a regeneración de tejido (ver Figura 22) muestra como principales polímeros PLA, Celulosa, PVA y gelatina, además de las combinaciones:

- PLA-quitosano
- PLA-PCL
- PLA-Celulosa
- Celulosa-PCL
- Celulosa-PU
- PVA-quitosano

En el caso del cuidado o tratamiento de heridas (ver Figura 23), los polímeros identificados son PVA, PU gelatina y PCL como principales, y en combinación con otros polímeros:

- PVA-PCL
- PVA-PLA
- PVA-quitosano
- PU-celulosa
- PU-Quitosano
- Gelatina-PCL

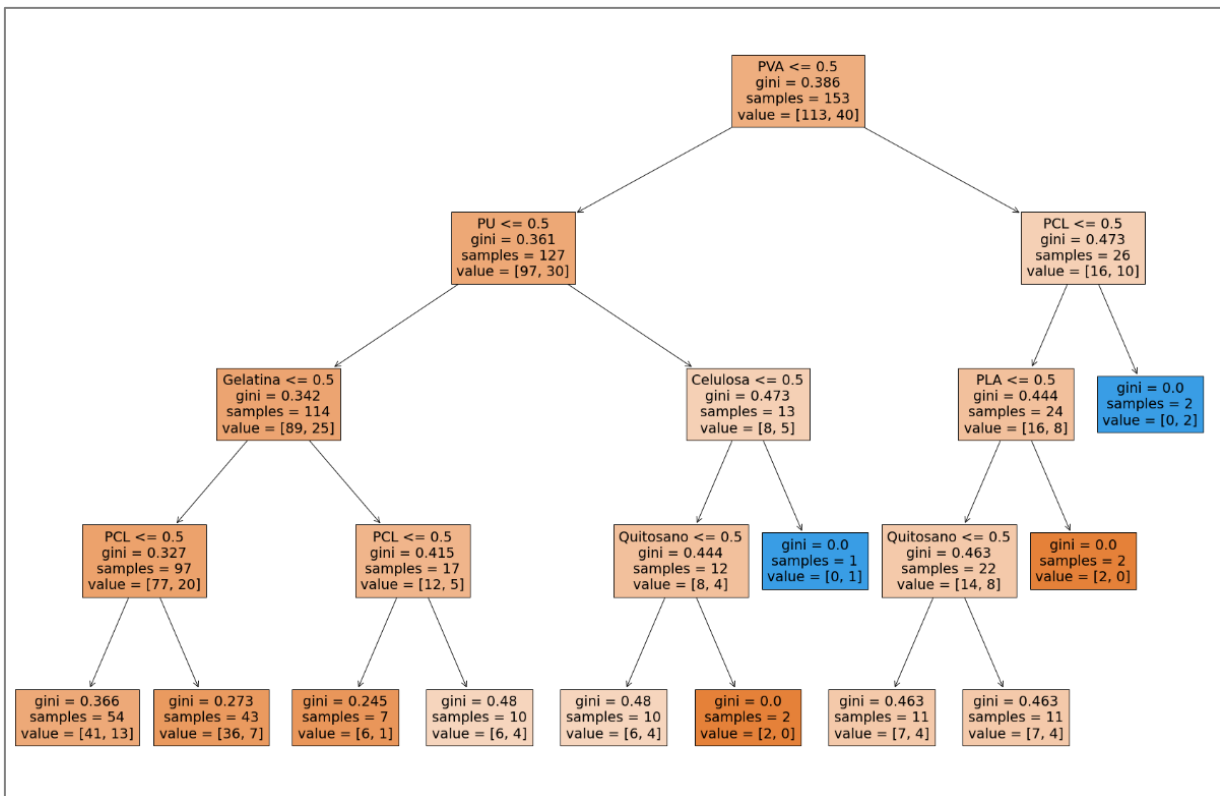


Figura 23 Árbol de decisión de tratamiento de heridas

Finalmente en la propiedad antibacteriana (ver Figura 24) parte de los polímeros antes mencionados están presentes, como PVA, PLA, celulosa y gelatina, con las combinaciones:

- PVA-PCL
- PVA-quitosano
- PVA-PLA
- PLA-PCL
- PLA-celulosa
- Celulosa-quitosano

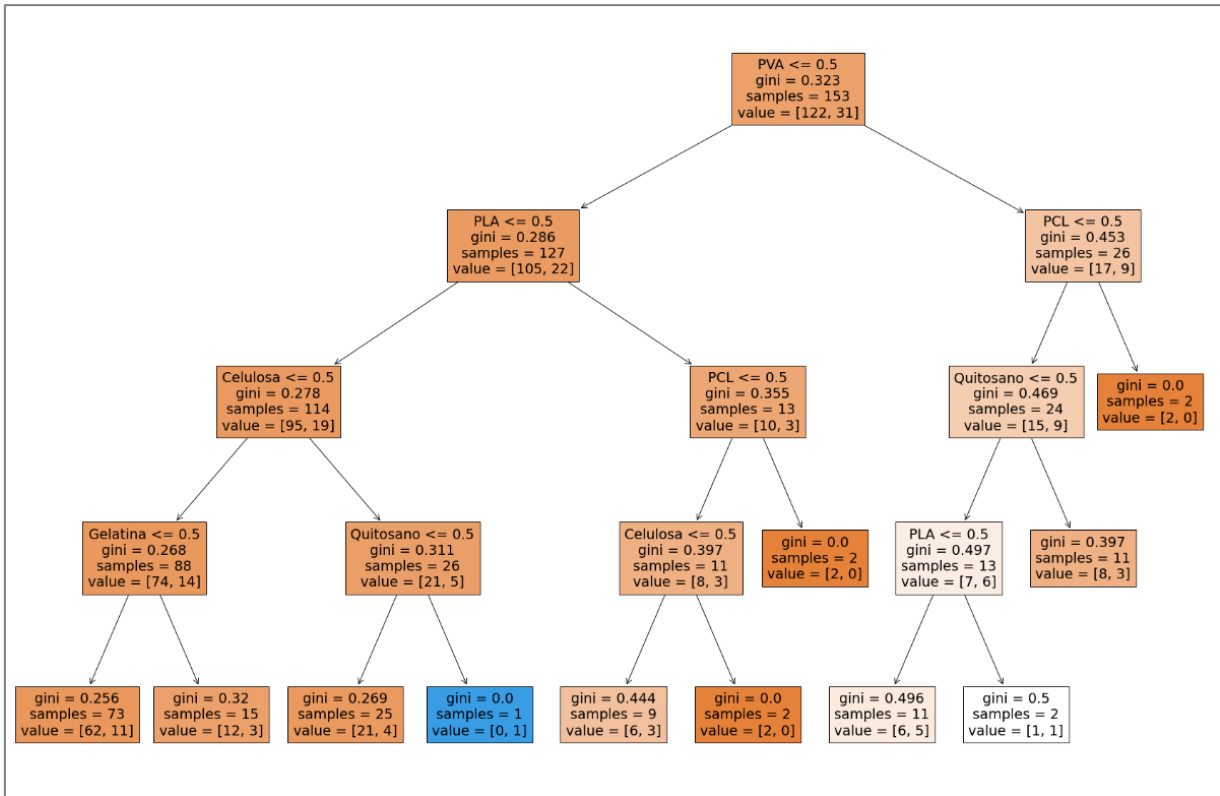


Figura 24 Árbol de decisión de propiedades antibacterianas

Retomando la información obtenida del tercer árbol de decisión se eligen las combinaciones resultantes del PVA (PVA-PCL, PVA-quitosano y PVA-PLA) para hacer la proyección de su comportamiento en los siguientes años y estimar el número de publicaciones que se espera tengan estas mezclas de polímeros en el 2030, esto a través del método de mínimos cuadrados recursivos.

Para dicho análisis se tomó en consideración la información referente a los artículos de investigación y revisión disponibles en *ScienceDirect* de 2003 a 2021 (ver Figura 25), donde se observa el creciente interés por las 3 combinaciones de polímeros, destacando el PVA-Quitosano.

Se mapearon datos desde el año 2003 hasta el año 2021, el año 2022 no se incluyó ya que al ser el año actual, no se tiene la suficiente información necesaria para el modelo de proyección.

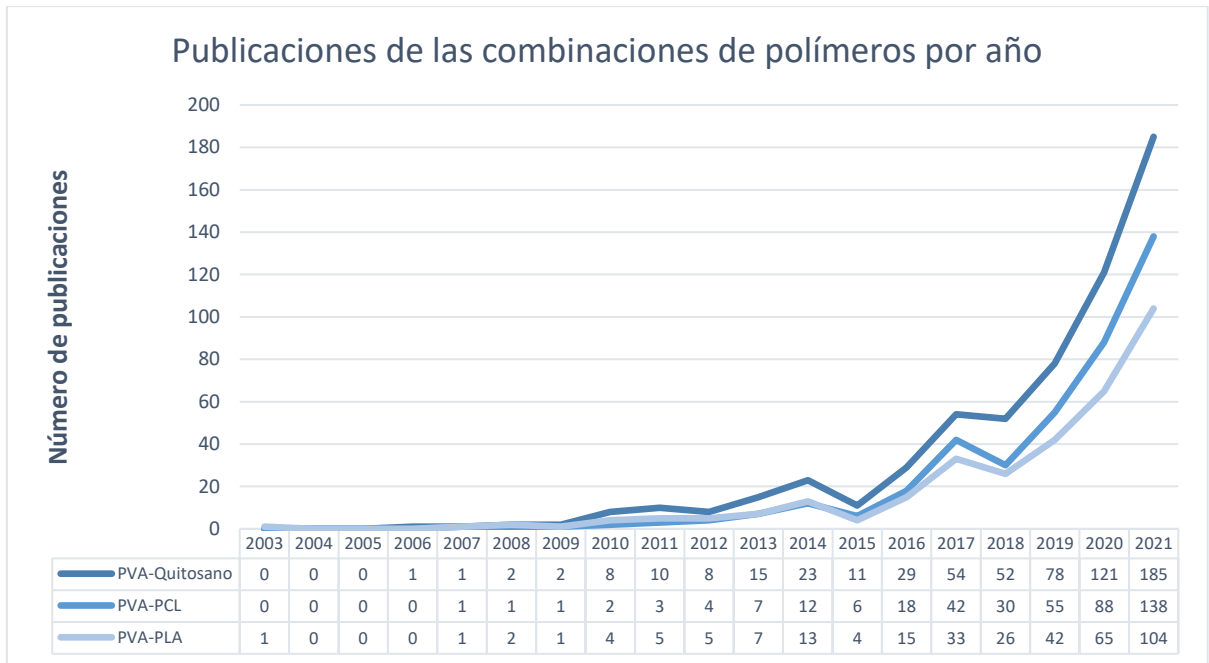


Figura 25 Publicaciones de las combinaciones de polímeros por año, Fuente: ScienceDirect

Para el modelo de proyección con los datos del conjunto de artículos, solo se tomaron las combinaciones a las que se les denomina vector  $A$ , y el vector  $b$  es la información correspondiente al año, tal que los coeficientes para la regresión y proyección se pueden obtener de la siguiente forma matricial.

$$Ax = b$$

Donde  $A$  es de tamaño  $m \times n$  y  $b$  de tamaño  $b \times 1$ . El sistema es indeterminado, lo que significa que no tiene una solución ya que el sistema matricial es inconsistente, sin embargo se propone el uso de una solución aproximada mediante el uso del algoritmo de mínimos cuadrados con norma en el residuo, el cual es un método muy usado en la inteligencia artificial para hacer regresiones polinomiales, que a diferencia de los métodos estadísticos descriptivos, tiene la ventaja que es mucho más simple de implementar de forma numérica, la función objetivo a minimizar es la siguiente:

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} \|Ax - b\|^2$$

La función objetivo tiene una función cuadrática donde  $A$  son los valores de cada una de las combinaciones de los materiales anteriormente descritos,  $x$  es el vector con los coeficientes óptimos de la regresión y  $b$  el vector lineal correspondiente a los años del conjunto de publicaciones.

La solución óptima por el método de mínimos cuadrados del sistema  $Ax=b$  se muestra a continuación.

$$x_{LS} = (A^T A)^{-1} A^T b$$

Donde:

$x_{LS}$  = Es el vector resultante con los coeficientes óptimos del modelo de regresión propuesto.

$A^T$  = Es la transpuesta de la matriz A con la información de las publicaciones por combinación

$(A^T A)^{-1}$  = Es la inversa del producto de la matriz A por su transpuesta

$(A^T A)^{-1} A^T$  = Es la pseudo-inversa por el método de Moore Pen-Rose

El resultado del método anteriormente planteado en donde se puede visualizar que los datos obtenidos fueron los óptimos para el modelo de regresión. Se utilizaron modelos cuadráticos, cúbicos y polinomiales de grado 4, 5 y 6. Sin embargo se eligió por un modelo polinomial cubico (Ver Figura 26).

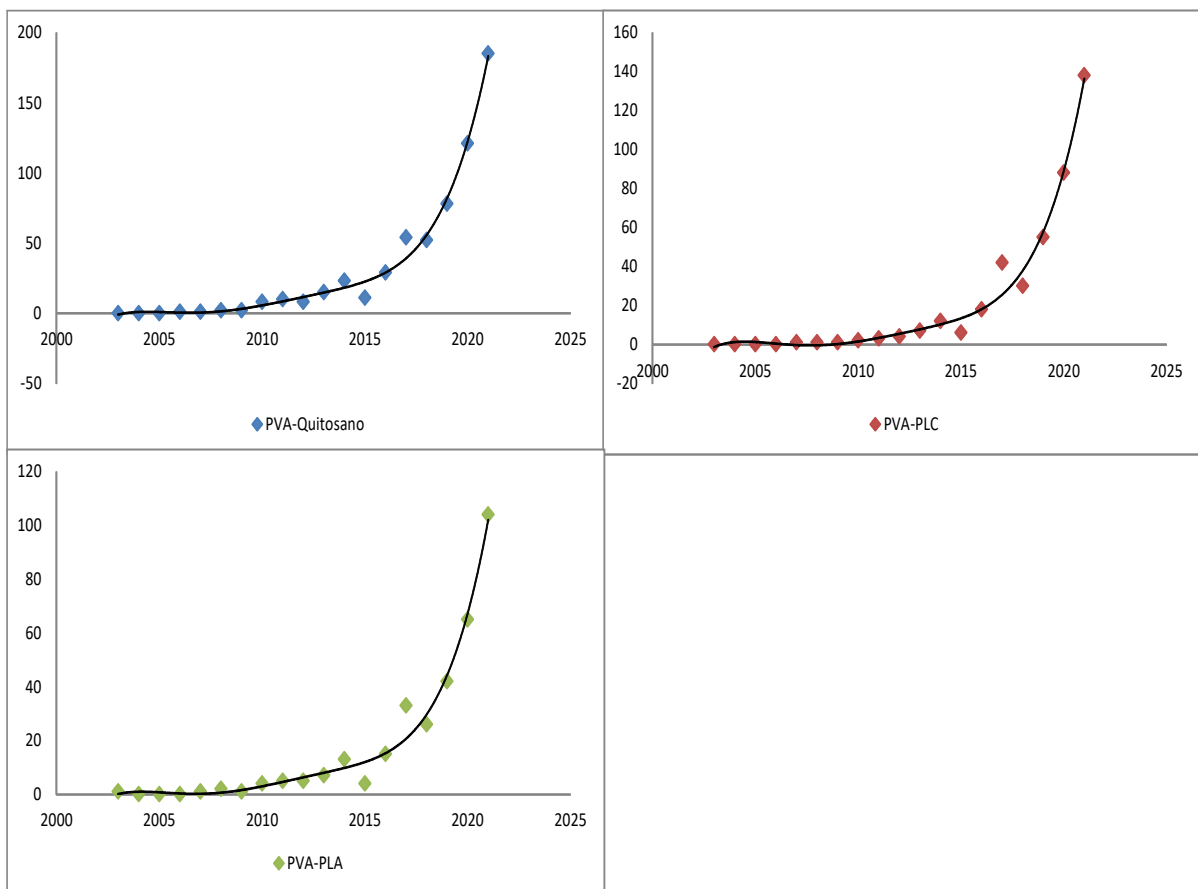


Figura 26 Modelos de regresión para cada una de las combinaciones de nanofibras electrohiladas

El modelo de regresión para cada una de las variables se muestra a continuación

$$y = p1 * x^3 + p2 * x^2 + p3 * x + p4$$

Donde

X= es el dato a proyectar, que para nuestro caso fue el año 2030

p1 hasta p4 = son los coeficientes del polinomio encontrado

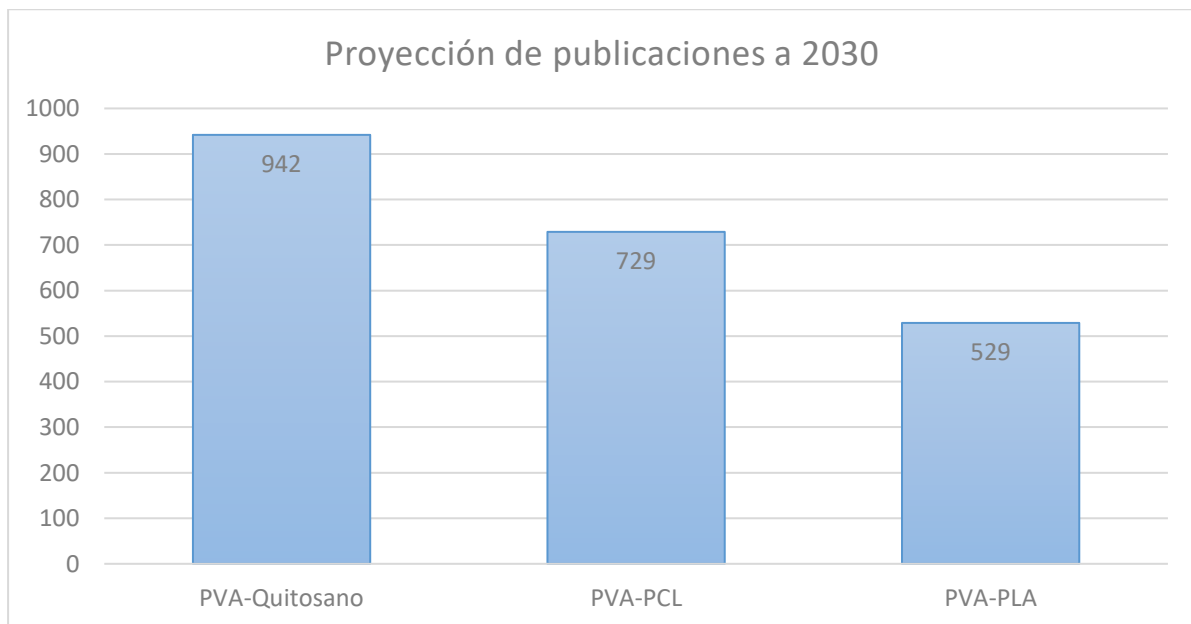
y = es el valor a predecir con la información anteriormente mostrada.

Los coeficientes obtenidos para el modelo de regresión se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11 Coeficientes obtenidos para el modelo de regresión**

<b>PVA-Quitosano</b>	<b>PVA-PCL</b>	<b>PVA-PLA</b>
p1 = 0.10558	p1 = 0.083255	p1 = 0.059781
p2 = -636.37	p2 = -501.8	p2 = -360.32
p3 = 1.2785e+006	p3 = 1.0082e+006	p3 = 7.2391e+005
p4 = -8.5621e+008	p4 = -6.7516e+008	p4 = -4.848e+008

Con los resultados obtenidos por el método de mínimos cuadrados recursivos se establecen los valores que para 2030 pueden alcanzar las contribuciones de la comunidad científica en cuanto a artículos o publicaciones se refiere (ver Figura 27).



**Figura 27 Proyecciones de publicaciones a 2030**

Con el análisis previo se ha observado el comportamiento que han tenido tanto las patentes de electrohilado del subgrupo A61 (ver Figura 21) y las publicaciones de las combinaciones de polímeros (ver Figura 25) es posible asegurar que la técnica de electrohilado de nanofibras se encuentra en una etapa de crecimiento (ver Figura 28) y es factible establecer un conjunto de estrategias para que a mediano y largo plazo la población se vea beneficiada con los avances tecnológicos que en este momento se han reportado, teniendo en claro cuáles serán los materiales, propiedades y aplicaciones.

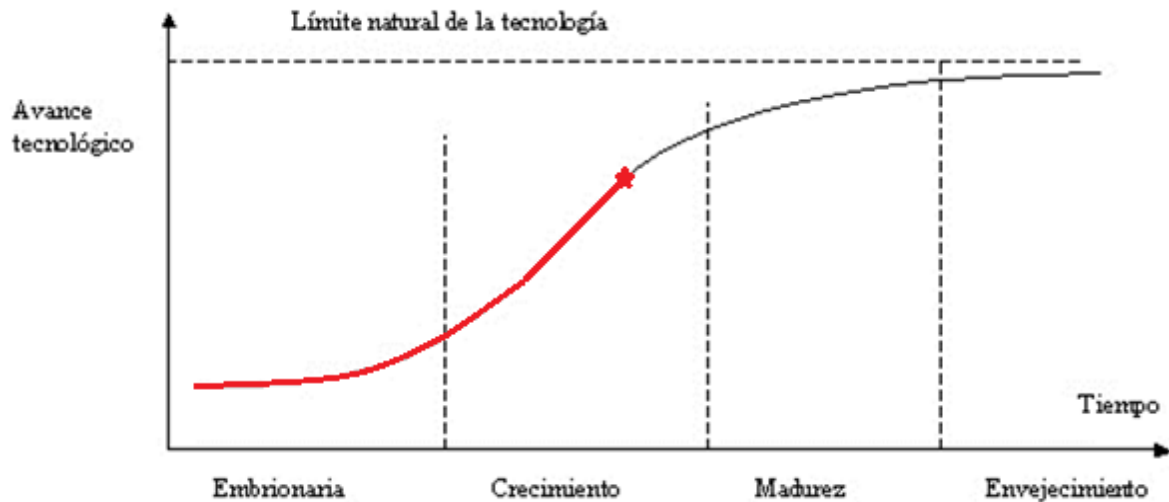


Figura 28 Etapa actual del ciclo de vida de la tecnología de electrohilado.

### 4.3 Etapa 3: Estrategias para la Gestión Tecnológica

Hasta este punto se ha definido que lo proyectado para 2030 es contar con nanofibras electrohiladas cuyos materiales base sean una combinación de PVA-PCL, PVA-PLA o PVA-quitosano, además que exhiban propiedades antimicrobianas. En cuanto al uso que se prevé tengan estos nanomateriales se observó que el campo del cuidado o tratamiento de heridas es uno de los de mayor interés, razón por la cual es necesario identificar sus características principales y definir estrategias para la incursión de productos compuestos por las nanofibras ya descritas.

Tomando en consideración la información proporcionada por Mordor Intelligence (2022), en su informe denominado "Mercado de gestión del cuidado de heridas: crecimiento, tendencias, impacto de covid-19 y pronósticos 2022 - 2027" (*wound care management market - growth, trends, covid-19 impact, and forecasts*) se observa que la población que presenta mayores necesidades para su atención es la geriátrica, proyectando que para 2030 los principales



países donde se concentre este sector de la población sean: Estados Unidos, Japón, Alemania y Francia (ver Figura 29).

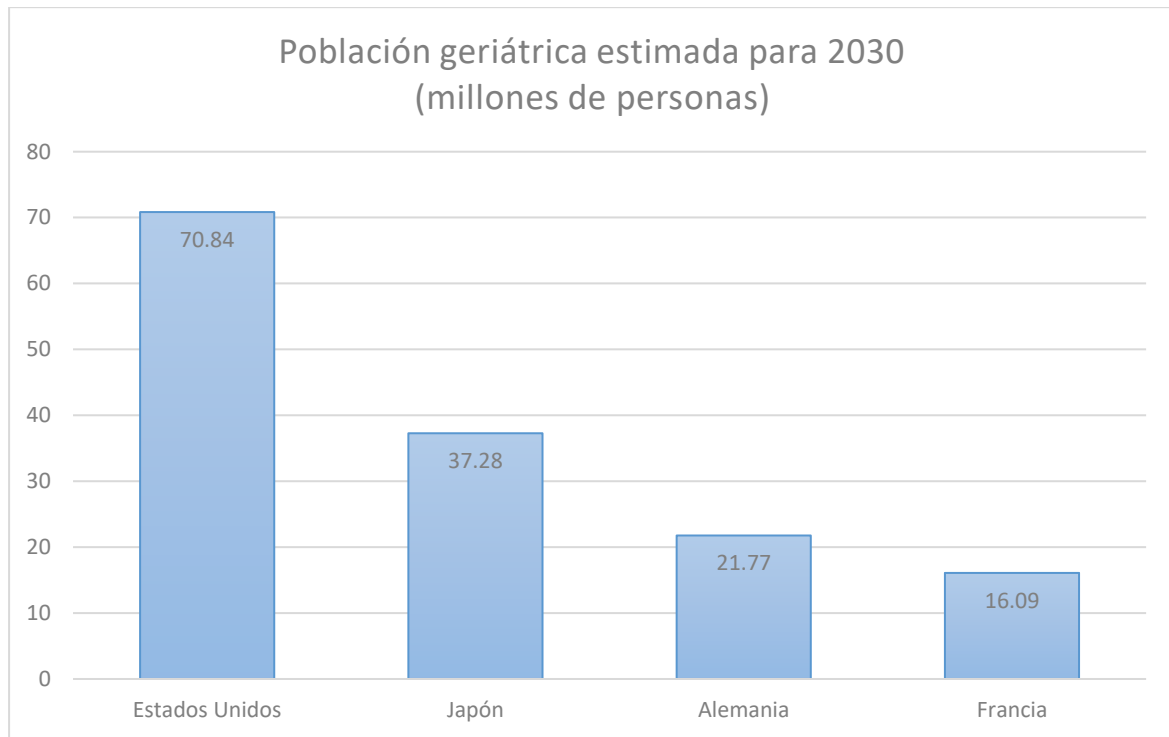


Figura 29 Población geriátrica estimada para 2030, Fuente: Mordor Intelligence, 2022.

Aunado a esto, la empresa especializada en estudios de mercado (Mordor Intelligence, 2022) también explica los factores clave que impulsarán el mercado del tratamiento de heridas, donde se toma en consideración:

- La creciente demanda de una recuperación más rápida de las heridas.
- El aumento del número de cirugías.
- La creciente incidencia de enfermedades crónicas.
- En adultos mayores a 65 años más del 25% padece diabetes.
- La diabetes es la principal enfermedad que causa heridas.
- La herida crónica más frecuente en diabéticos son las úlceras en los pies.

Por estos motivos resulta atractivo idear una planeación que permita sentar las bases para la incursión en este mercado, las nanofibras electrohiladas con propiedades antibacterianas pueden ayudar en el tratamiento de heridas como úlceras en los pies de la población que padece diabetes.

### 4.3.1 Plan tecnológico

Por ser una investigación de carácter exploratorio, los puntos a desarrollarse a continuación se abordan de una manera general, debido a que los resultados obtenidos sirvieron para establecer como prioridad aquellas investigaciones relacionadas con el tratamiento de heridas diabéticas, y el proceso de planeación donde se reflejan las decisiones para la utilización de tecnología, que sea capaz de otorgar una ventaja competitiva a los investigadores de la línea de Materiales y Nanotecnología de la Maestría en Ingeniería del Instituto Tecnológico de Querétaro (por medio de la adquisición y puesta en marcha de la tecnología) considera cuatro aspectos básicos (ver Figura 30), donde se toman en cuenta las necesidades de los investigadores para poder ser partícipes en el mercado de la atención de heridas diabéticas a futuro.

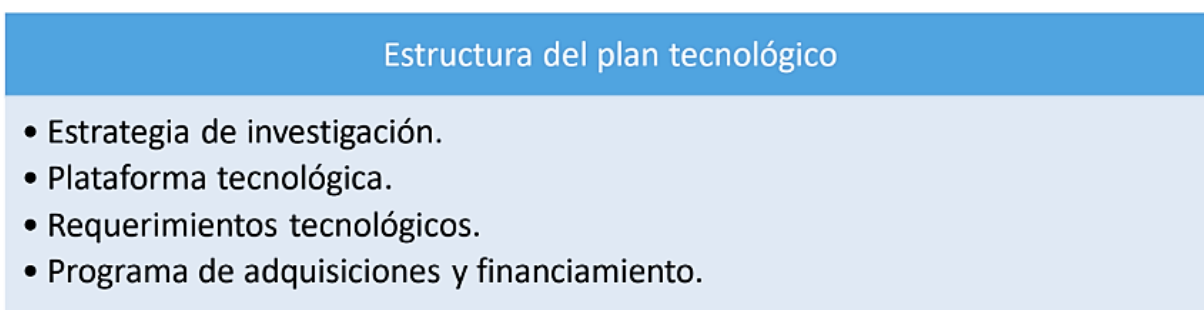


Figura 30 Estructura propuesta de plan tecnológico

#### 4.3.1.1 Estrategía de investigación

Al tratarse de personal de una institución educativa es necesario identificar en primera instancia la misión y visión que tienen los miembros del área de materiales y nanotecnología:

- **Misión:** Participar activamente en el área de la nanotecnología, por medio de la investigación científica para hacer frente a los retos relacionados a esta área en el entorno industrial.
- **Visión:** Ser un referente en la oferta educativa a nivel posgrado en el área de la nanotecnología, que establezca el vínculo necesario entre los sectores industrial, académico y social en México.

Para poder alinear los esfuerzos que habrán de realizar los investigadores de la línea de Materiales y Nanotecnología de la Maestría en Ingeniería, se han establecido las siguientes estrategias a largo plazo:

- Incursionar en el área de la nanotecnología por medio del desarrollo, innovación e investigación en nuevos materiales, específicamente nanofibras.
- Desarrollar nanofibras electrohiladas que posean propiedades antimicrobianas, cuyos materiales base sean una combinación de PVA-PCL, PVA-PLA o PVA-quitosano.
- Desarrollar una técnica de electrohilado convencional y coaxial que permita producir nanofibras funcionales para el tratamiento de úlceras de pie diabético.

#### **4.3.1.2 Plataforma tecnológica**

Las actividades de desarrollo, innovación e investigación de las nanofibras propuestas requieren de la delimitación de ciertos productos y procesos, para lo cual se establecen:

- Productos: nanofibras antimicrobianas a base de las tres diferentes combinaciones de polímeros, con la finalidad de aportar una variedad de opciones a los futuros consumidores.
- Procesos: el desarrollo de una técnica de electrohilado convencional para la producción de nanofibras con las que se habrá de incursionar en el mercado, posteriormente la mejora e innovación en la técnica para producir nanofibras que posean un núcleo-coraza para dotar de propiedades o funciones adicionales a los productos futuros.

#### **4.3.1.3 Requerimientos tecnológicos**

Las actividades para el escalamiento de la tecnología y futura producción a nivel industrial requieren en primera instancia:

- Equipo: contar con un sistema de electrohilado tradicional, el cual ya se encuentra disponible en las instalaciones del Instituto Tecnológico, pero en un futuro será necesario realizar mejoras a este para poder utilizarlo con una modalidad coaxial.
- Obra e infraestructura: el equipo de electrohilado para las actividades de investigación posee un espacio en el laboratorio de nanomateriales y nanotecnología, por lo cual no se considera un espacio adicional o la construcción de algún otro laboratorio que albergue el equipo.
- Entrenamiento y capacitación: los cinco investigadores de la línea de Materiales y Nanotecnología de la Maestría en Ingeniería cuentan con estudios a nivel doctorado y algunos de ellos además tienen formación especializada en el área de materiales y nanotecnología, pero sólo dos de ellos tiene como línea de investigación el desarrollo de materiales electrohilados y materiales para ingeniería de tejidos, por lo cual resulta necesario que el resto de los miembros adquieran conocimientos y habilidades afines

para el manejo de polímeros naturales y sintéticos, manejo del sistema de electrohilado y la ingeniería de tejidos.

#### **4.3.1.4 Programa de adquisiciones y financiamiento**

Para poder dotar de recursos financieros a las actividades y proyectos de investigación se tiene como propuesta en primera instancia la utilización de fondos provenientes del Tecnológico Nacional de México, por medio de las convocatorias que publica semestralmente para:

- Proyectos de Investigación Científica,
- Proyectos de Desarrollo Tecnológico e Innovación para estudiantes, y
- Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación.

Esto por tratarse de recursos provenientes del mismo sistema al que pertenece el Instituto Tecnológico de Querétaro, y que brinda la posibilidad de adquirir los insumos necesarios para el desarrollo de los nuevos materiales, así como de componentes para las adaptaciones que resulten necesarias en el sistema de electrohilado.

Tomando en consideración que se cuenta con personal perteneciente al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) también es posible obtener financiamiento a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por medio de la convocatoria de Ciencia de Frontera, debido a que los puntos que se han destacado en esta investigación tienen características propias de los proyectos que son financiados y que pueden derivar en:

- Avances conceptuales del saber científico.
- Generación de conocimiento nuevo, y/o
- Al cambio en el entendimiento de conceptos científicos existentes bajo parámetros de competencia internacional.
- Descubrimientos en las fronteras del conocimiento.
- Impacto en nuestra sociedad y cultura, y
- El inicio de nuevos campos de investigación.

#### **4.3.2 Hoja de ruta tecnológica**

Una vez que se definieron las estrategias para cada uno de los aspectos a considerar, por medio de una hoja de ruta se establecen los niveles, relaciones y momentos en los que habrán de llevarse a cabo las actividades para la incursión de las diferentes combinaciones de

nanofibras en el mercado (ver Figura 31). Se hace referencia a 4 rubros o categorías: el mercado que se tiene como objetivo, los productos con los que habrá de participar, los requerimientos tecnológicos que implica el desarrollo de esos productos y los proyectos de innovación y desarrollo que tendrán lugar para que la propuesta pueda contar con las características necesarias para dar atención al mercado en cuestión. La estructura de la hoja de ruta obedece a 4 niveles acordes a cada tipo de estrategia:

- Mercado
- Producto
- Tecnología
- Proyectos de I+D

#### **4.3.2.1 Estrategias de mercado**

Retomando la información de los principales países donde se concentrará la mayor parte de la población geriátrica (Estados Unidos, Japón, Alemania y Francia), y que ascenderá a 145.98 millones de personas para 2030 (Ver Figura 29), se debe tener en cuenta que al menos el 25% de los adultos mayores a 65 años también sufrirán diabetes (Mordor Intelligence, 2022), es decir, como mínimo se espera que 36.5 millones de personas serán propensas a experimentar problemas relacionados con úlceras en los pies, por lo que ofertar algún dispositivo médico que permita una mejor y más rápida recuperación es atractivo, dado que la propuesta serviría para atender necesidades de un mercado americano, europeo y asiático.

Es por ello que se fijan los siguientes objetivos:

- A corto plazo: incursionar en el mercado del cuidado de heridas proveyendo nanofibras a base de PVA-PCL que cuenten con propiedades antimicrobianas.
- A mediano plazo: proveer al mercado del cuidado de heridas un producto a base de nanofibras electrohiladas de tipo núcleo-coraza hechas a base de PVA-PLA para el tratamiento de heridas diabéticas.
- A largo plazo: innovar y especializarse en el mercado del cuidado de heridas con un producto a base de nanofibras electrohiladas de tipo núcleo-coraza, cuyos componentes consideren polímeros naturales y sintéticos por medio de la combinación de PVA-quitosano para el tratamiento de heridas diabéticas.

#### **4.3.2.2 Estrategias de productos**

En concordancia con los objetivos y momentos considerados para la incursión de los 3 diferentes productos se definen las prioridades y orden en que estos serán diseñados y elaborados:

- Nanofibras a base de PVA-PCL: se define como el primer producto y carta de presentación dado que en la consulta de textos científicos esta combinación de polímeros es la que ha mostrado un mayor grado de avance, al contar con evidencias del tratamiento de úlceras y pruebas realizadas en roedores con diabetes (Ranjbar et al., 2020) donde la recuperación tarda en promedio de 15 días.
- Nanofibras a base de PVA-PLA: en relación al comportamiento de los avances encontrados para la primer mezcla de polímeros se esperan patrones y avances similares para esta segunda combinación, una vez que el primer producto haya incursionado en el mercado y sea reconocido, para mantenerse vigente en el mercado se propone una mejora a las nanofibras en su estructura, que sea de tipo núcleo-coraza, para poder dotarlas además de las propiedades antimicrobianas con la capacidad para contener y liberar principios activos que ayuden de una mejor forma a los pacientes diabéticos.
- Nanofibras a base de PVA-quitosano: planteadas como un producto a largo plazo donde ya se estará considerando hacer uso de tecnologías más amigables con el medio ambiente y sostenibles que se deben introducir cada vez más en el mercado, aprovechando que en este punto ya se tiene un mejor dominio de las técnicas y tecnologías empleadas, a través de la incorporación de un polímero de origen natural para ofrecer un producto dotado de las mismas ventajas que los productos lanzados previamente.

#### **4.3.2.3 Estrategias tecnológicas**

Aunque se plantean 3 diferentes productos, el equipo necesario para su elaboración es de 2 configuraciones diferentes de electrohilado:

- Electrohilado convencional: que será necesario para la producción a escala industrial de nanofibras de PVA-PCL.
- Electrohilado coaxial: para los productos a base de PVA-PLA y PVA-quitosano, para generar nanofibras de tipo núcleo-coraza.

#### 4.3.2.4 Estrategias de proyectos de I+D

Para poder obtener el mayor beneficio de las investigaciones de materiales empleados en el tratamiento de heridas y desarrollar nanofibras electrohiladas que sirvan a pacientes diabéticos se plantea una cartera de 3 proyectos, acorde a los recursos tecnológicos y estrategias de mercado a corto y largo plazo. Para cada proyecto se ha definido una combinación de polímeros para producir nanofibras que son considerados como una mezcla base, además se contempla el dotar a los productos de propiedades antimicrobianas y en un futuro la capacidad para liberar algún otro principio activo, por lo tanto en el portafolio se puede apreciar:

- Una combinación de materiales compatibles con PVA-PCL: como primer proyecto a desarrollar en un corto plazo, por existir actualmente avances ya documentados en el empleo de estos polímeros, lo que serviría como base para que los investigadores de la línea de Materiales y Nanotecnología de la Maestría en Ingeniería generen una propuesta propia haciendo uso del equipo de electrohilado convencional con que cuentan. El primer proyecto se cataloga de bajo riesgo y corto plazo, porque dentro de sus requerimientos se encuentra el equipo ya existente y recursos materiales que ya han sido empleados por otros grupos de investigadores.
- Combinación de materiales compatibles con PVA-PLA: un proyecto de mediano plazo y riesgo intermedio, donde se retoman los aprendizajes y experiencias obtenidas del primer proyecto para innovar con una nueva mezcla de polímeros donde las nanofibras producidas sean de tipo núcleo-coraza, morfología que se obtiene a través de un electrohilado coaxial, por lo tanto, en el segundo proyecto se necesita que el equipo sea adaptado (modificar el tipo de aguja).
- Combinación de materiales compatibles con PVA-Quitosano: proyecto a largo plazo, que toma en cuenta el uso de polímeros naturales y las ventajas que ofrece el electrohilado coaxial para producir nanofibras que además de ser antimicrobianas tengan propiedades para la liberación controlada de fármacos. Por este conjunto de características se cataloga como un proyecto de alto riesgo, que depende de las habilidades y conocimientos que el grupo de investigadores vaya adquiriendo, así como modificaciones o mejoras al equipo, sumados a un mejor control de las variables del proceso que conlleva producir nanofibras con esta morfología.

Donde se entiende como materiales compatibles a todos aquellos que permitan obtener una composición para producir nanofibras electrohiladas con las propiedades, estructura y morfología requeridas. Algunas de las composiciones que se han utilizado para dotar de

propiedades antimicrobianas a las nanofibras son: quitosano-PVA como núcleo y PVP-MD como cubierta, con aceites esenciales encapsulados de satureja mutica u oliveria decumbens (Barzegar et al., 2021), también se han documentado esteras de nanofibras de acetato de celulosa-poliuretano que contienen nanocompuestos reducidos de óxido de grafeno-plata y curcumina (Esmaeili et al., 2020), y andamios cuyas nanofibras de PVP-PLA-PEO fueron elaboradas por medio de electrohilado coaxial para la liberación de colágeno y cefazolina encapsulados (Hajikhani et al., 2021).

Hasta este punto se ha demostrado a nivel laboratorio que las soluciones poliméricas en conjunto con los parámetros relacionados a la configuración del equipo de electrohilado ya sea convencional o coaxial promueven un mejor desempeño. Las necesidades que se tienen para poder escalar a nivel industrial la producción de nanofibras son principalmente: conocimientos técnicos multidisciplinarios para una fabricación exitosa, monitoreo para el control sobre la solución y los parámetros del proceso durante la producción, y control de calidad para los materiales de nanofibras producidos. Entre las configuraciones de electrohilado a escala industrial disponibles comercialmente, Inovenso Ltd. oferta un aparato que produce fibras con un diámetro de hasta 50 nm con un área de producción de hasta 5000 m<sup>2</sup> diarios o con tasas de producción de hasta aproximadamente 200 g/h para recubrimientos de nanofibras (Persano et al., 2013).



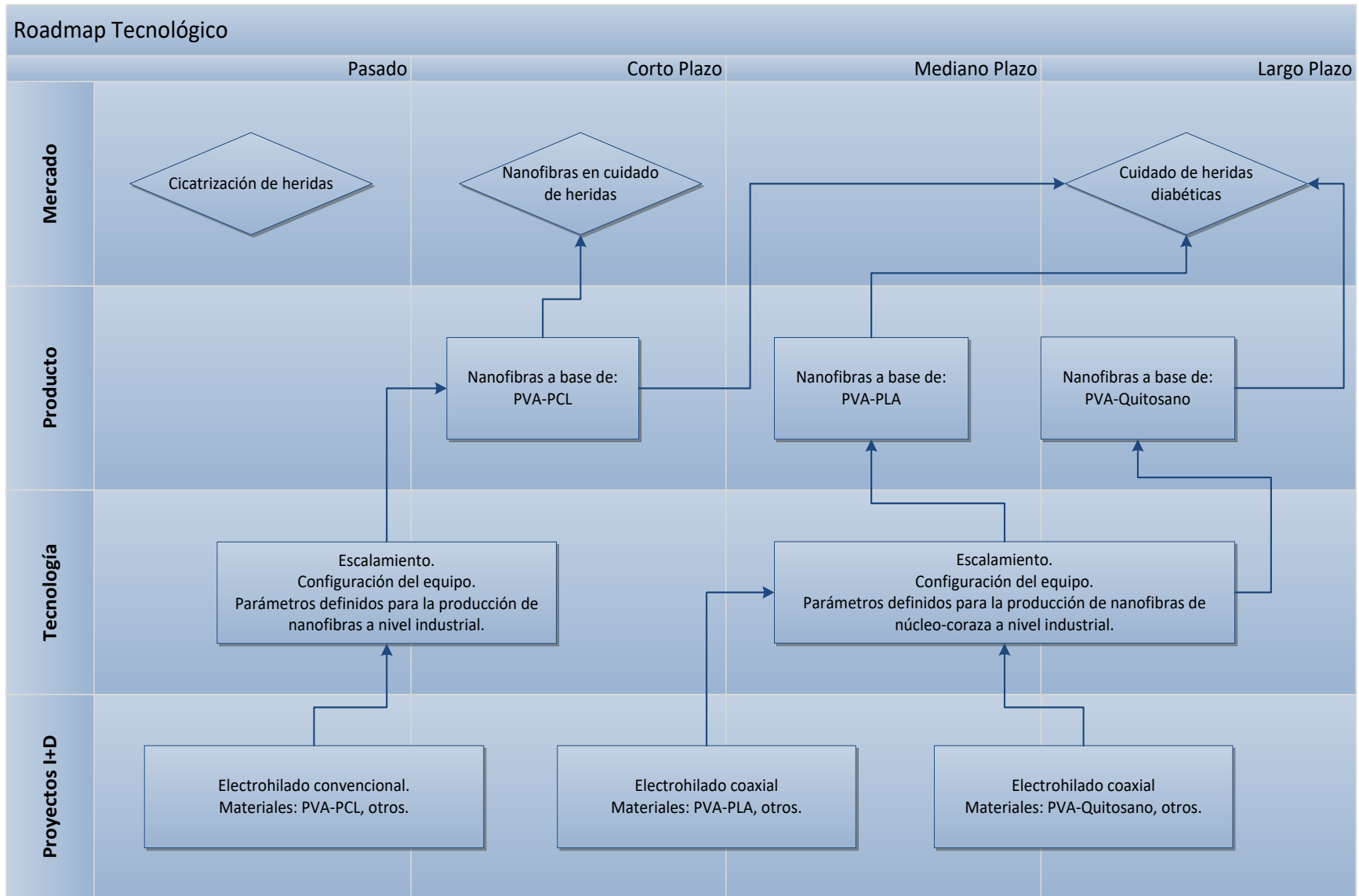


Figura 31 Hoja de ruta tecnológica

## Capítulo 5 Conclusiones

Este proyecto tuvo por objetivo diseñar una hoja de ruta tecnológica relacionada con el uso a mediano y largo plazo de nanofibras, donde se logró identificar un área de oportunidad en el mercado de la atención de heridas de pacientes diabéticos. Para hacerlo posible en primera instancia se desarrolló un mapeo tecnológico donde se identificaron a los principales países que realizan investigación sobre electrohilado y sus áreas de interés, seguido de un proceso de vigilancia tecnológica donde se trató de identificar el tipo de sistemas de electrohilado que se emplearon en la producción de fibras funcionales y productos ya comercializados, pero en algunos casos esa información no se encontró disponible, por lo que se complementó la investigación con el análisis de los registros de patentes más recientes para correlacionar el tipo de sistema de electrohilado que se emplea con mayor frecuencia.

En el mapeo tecnológico el principal problema que se tuvo fue el identificar de una manera fácil y sencilla el agrupamiento de la información, dado que los datos obtenidos tenían una alta dimensionalidad y para hacerlo posible la herramienta que ayudó en la identificación de relaciones entre el comportamiento de los datos y su agrupación por características similares fueron los mapas autoorganizados, a través de un código de programación desarrollado en Python. Con ello fue posible identificar que los principales grupos de investigación en materia de nanofibras electrohiladas son originarios de China y sus aportaciones corresponden a problemáticas de la salud. También se observó que el área de la medicina y las aplicaciones en tratamientos para la salud son los temas de mayor interés en la comunidad tecnológica, así como un importante crecimiento en el rubro de ciencia médica y veterinaria en el registro de patentes. Como parte del proceso de vigilancia tecnológica las fibras funcionales que están presentes en productos ya comercializados atienden necesidades variadas, principalmente en productos de filtración de aire, pero las soluciones más innovadoras también son ofertadas en el rubro de atención de necesidades de salud.

Para delimitar el área de aplicación más a detalle y relacionar los materiales utilizados con las propiedades que muestran las nanofibras, se desarrolló otro código de programación para emplear árboles de decisión, los resultados mostraron que polímeros como el PVA, PCL, PLA y quitosano son empleados para el tratamiento de heridas, además, se consigue producir nanofibras con estos materiales y dotarlas de propiedades antimicrobianas. Por lo tanto, es posible atender necesidades en el campo de tratamiento de heridas por medio de la generación de nanofibras electrohiladas. En concordancia, el análisis de prospectiva perfila

que para el 2030 el sector de cuidados de la salud, específicamente para pacientes geriátricos con padecimientos de diabetes es el principal nicho de mercado que se prevee genere una mayor demanda en cuanto a materiales para la atención de pies con úlceras.

Es así, que las estrategias propuestas para procesos de innovación y desarrollo de un sistema de electrohilado giran en torno a producir nanofibras con los polímeros ya mencionados, quedando plasmado en la hoja de ruta tecnológica tres diferentes proyectos planeados a largo plazo y programados acorde a los requerimientos de equipo, materiales y nivel de complejidad.

El llevar a cabo proyectos de investigación que involucren la innovación y uso de nuevas tecnologías genera la necesidad de integrar planes tecnológicos y hojas de ruta, como una forma de saber qué camino seguirá en el futuro la tecnología en concordancia con los objetivos de una organización, apoyando en la toma de decisiones y permitiendo obtener ventajas competitivas, administrando la adquisición, transferencia o asimilación de tecnología y los requerimientos que esto conlleva.

Se recomienda dar continuidad a esta investigación con proyectos afines al uso de mezclas de polímeros sintéticos y de origen natural que puedan emplearse para el tratamiento de heridas y la liberación controlada de fármacos. También a llevar a cabo investigaciones relacionadas con las regulaciones y normatividad aplicable para hacer uso de productos a base de nanofibras de polímeros naturales en nuestro país.

De igual manera realizar proyectos que involucren mejoras o innovaciones en la flexibilidad de los sistemas de electrohilado, como el adaptar un sistema convencional para poder utilizarlo como un sistema de tipo coaxial.

## Referencias bibliográficas

- Banzhaf, W. (2009). Self-organizing Systems. En *Encyclopedia of Complexity and Systems Science* (pp. 8040–8050). Springer New York.
- Barros, R. C., de Carvalho, A. C. P. L. F., y Freitas, A. A. (2015). *Automatic design of decision-tree induction algorithms*. Cham: Springer International Publishing.
- Barzegar, S., Zare, M. R., Shojaei, F., Zareshahrabadi, Z., Koochi-Hosseiniabadi, O., Saharkhiz, M. J., y Khorram, M. (2021). Core-shell chitosan/PVA-based nanofibrous scaffolds loaded with *Satureja mutica* or *Oliveria decumbens* essential oils as enhanced antimicrobial wound dressing. *International Journal of Pharmaceutics*, 597, 120288. doi:10.1016/j.ijpharm.2021.120288.
- Best, R. (2007). Marketing estratégico. *Pearson Educación, S.A.*, 4ta edición. Madrid, ISBN: 978-84-8322-342-0.
- Caracciolo, P., Cortez, P., Buffa, F., Montini F., Cuadrado, T. y Abraham, G. (2011). Pequeñas Fibras, grandes aplicaciones. *Ciencia Hoy*. 21. 57. Recuperado de <https://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy121/nanofibras.pdf>
- Castellanos, O. (2007). Gestión Tecnológica: de un enfoque tradicional a la inteligencia. *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia*. ISBN: 958-701-685-8
- Cegarra, J. (2004). Metodología de la investigación científica y tecnológica. *Ediciones Díaz de Santos*. 1ra ed. Madrid. Recuperado de: [https://www.academia.edu/31681132/Metodología de la investigación científica y tecnológica](https://www.academia.edu/31681132/Metodología_de_la_investigación_científica_y_tecnológica)
- Cervantes, P., Souza, E., Bernal, A., Reyes, J., de la Rosa, G. y Cuevas, G. (2017). Impacto de los nanocontaminantes en biorreactores aerobios para tratamiento de aguas residuales. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(1), 247-261. ISSN: 1665-2738. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62049878024>
- Centro de Investigación en Materiales Avanzados, CIMAV S.C. (2008). Diagnóstico y Prospectiva de la Nanotecnología en México. Recuperado de: [http://www.2006-2012.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/Estudios/Diagnostico\\_y\\_Prospectiva\\_Nanotecnologia\\_Mexico.pdf](http://www.2006-2012.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/Estudios/Diagnostico_y_Prospectiva_Nanotecnologia_Mexico.pdf)
- Chaudhery, H. (2020). Handbook of Functionalized Nanomaterials for Industrial Applications. *Elsevier*. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816787-8.00001-6>
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., y Herrera, F. (2011). Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62(7), 1382–1402.

- COTEC. (s.f.) Pautas Metodológicas en Gestión de la Tecnología y de la Innovación para Empresas. *Fundación Cotec para la Innovación Tecnológica*. Recuperado de: [http://informecotec.es/media/K01\\_Temaguide.pdf](http://informecotec.es/media/K01_Temaguide.pdf)
- de la Cruz, L. I. S., Rodríguez, F. J. M., Velasco-Santos, C., Martínez-Hernández, A., y Gutiérrez-Sánchez, M. (2016). Hydrolytic degradation and morphological characterization of electrospun poly (glycolic acid)[PGA] thin films of different molecular weights containing TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Journal of Polymer Research*, 23(6), 1-10. doi: 10.1007/s10965-016-1002-9
- Davarazar, M., Kamali, M., y Lopes, I. (2021). Engineered nanomaterials for (waste) water treatment - A scientometric assessment and sustainability aspects. *NanoImpact*, 100316, 100316.
- Delgado, M., Infante, M., Abreu, Y., García, B., Infante, O., y Díaz, A. (2010). Metodología de vigilancia tecnológica en universidades y centros de investigación. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 41() ,1-13 ISSN: 0253-5688. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1812/181220509076>
- Ding, B., Wang, X. y Yu, J. (2019). In *Micro and Nano Technologies, Electrospinning: Nanofabrication and Applications*, William Andrew Publishing. doi: 10.1016/B978-0-323-51270-1.18001-X.
- Duque, L., Rodríguez, L, y López, M. (2013). Electrospinning: la era de las nanofibras. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 14. 10. Recuperado de <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/ENE13/duque.pdf>
- Environmental Protection Agency, United States, EPA U.S. (2016). *Exposure Assessment Tools by Chemical Classes-Nanomaterials*. Recuperado de: <https://www.epa.gov/expobox/exposureassessment-tools-chemical-classes-nanomaterials>
- Erosa, V. E., y Arroyo, P. E. (2007). *Administración de la tecnología nueva fuente de creación de valor para las organizaciones*. México Limusa. ISBN: 978-968-18-6981-6.
- Escorsa, P., Maspons R., y Rodríguez M. (2000). Mapas tecnológicos, estrategia empresarial y oportunidades de mercado. El caso de los textiles para usos médicos. *Boletín Intexter* n.o 117, pág. 57, UPC, Recuperado de: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/1653/6\\_MAPAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/1653/6_MAPAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Esmaili, E., Eslami-Arshaghi, T., Hosseinzadeh, S., Elahirad, E., Jamalpoor, Z., Hatamie, S., y Soleimani, M. (2020). The biomedical potential of cellulose acetate/polyurethane

- nanofibrous mats containing reduced graphene oxide/silver nanocomposites and curcumin: Antimicrobial performance and cutaneous wound healing. *International Journal of Biological Macromolecules*. doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.02.295.
- Esmailzadeh, I., Mottaghtalab, V., Tousifar, B., Afzali, A. y Lamani, M. (2015). A feasibility study on semi industrial nozzleless electrospinning of cellulose nanofiber. *International Journal of Industrial Chemistry*, 6(3), 193–211. doi: 10.1007/s40090-015-0043-y.
- Espíndola-González, A., Martínez-Hernández, A. L., Fernández-Escobar, F., Castaño, V. M., Brostow, W., Datashvili, T., y Velasco-Santos, C. (2011). Natural-synthetic hybrid polymers developed via electrospinning: the effect of PET in chitosan/starch system. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(3), 1908-1920. doi: 10.3390/ijms12031908
- Faigl, J. (2010). *Multi-goal path planning for cooperative sensing*. Czech Technical University of Prague.
- Fuh, Y.-K., Lien, L.-C., y Chen, S.-Y. (2012). High-Throughput Production of Nanofibrous Mats via a Porous Materials Electrospinning Process. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 51(9), 1742–1749. doi:10.1080/00222348.2012.659628.
- García, N. (2013). Electrospinning: una Técnica Fascinante para la Obtención de Nanofibras Poliméricas. *Revista de Plásticos Modernos*. 105. 166. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/256791503\\_Electrospinning\\_una\\_Tecnica\\_Fascinante\\_para\\_la\\_Obtencion\\_de\\_Nanofibras\\_Polimericas/link/0deec523c4521f7d2000000/download](https://www.researchgate.net/publication/256791503_Electrospinning_una_Tecnica_Fascinante_para_la_Obtencion_de_Nanofibras_Polimericas/link/0deec523c4521f7d2000000/download)
- Goyal R. (2017). *Nanomaterials and Nanocomposites: Synthesis, Properties, Characterization Techniques, and Applications*. CRC Press, Florida.
- Grajciarova, L., Mares, J., P., D., y Procházka, A. (2012). *Biomedical Image Analysis Using Self-Organizing Maps*.
- Hajikhani, M., Emam-Djomeh, Z., y Askari, G. (2021). Fabrication and characterization of mucoadhesive bioplastic patch via coaxial polylactic acid (PLA) based electrospun nanofibers with antimicrobial and wound healing application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 172, 143–153. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.01.051
- Haykin, S. O. (1998). *Neural networks: A comprehensive foundation: United States edition (2a ed.)*. Pearson.
- Hidalgo, A., León, G. y Pavón, J. (2002). La Gestión de la Innovación y la Tecnología en las Organizaciones. *Editorial Pirámide*. ISBN: 84-368-1702-8.

- Hood, W. W., y Wilson, C. S. (2001). The Literature of Bibliometrics, Scientometrics, and Informetrics. *Scientometrics*, 52(2), 291–314.
- Huang, Z., Zhang, Y., Kotaki, M., y Ramakrishna, S. (2003). A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 63(15), 2223–2253. doi: 10.1016/s0266-3538(03)00178-7
- Kny, E., Ghosal, K., y Thomas, S. (2018). Electrospinning: From Basic Research to Commercialization. *Royal Society of Chemistry*. ISBN 178801491X, 9781788014915
- Kohonen, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43(1), 59–69.
- Kohonen, T. (1988). The “neural” phonetic typewriter. *Computer*, 21(3), 11–22.
- Kohonen, T. (2014). *MATLAB Implementations and Applications of the Self-Organizing Map*. Unigrafia Oy.
- LeCorre-Bordes, D. S., Jaksons, P., & Hofman, K. (2017). Mind the gap: Ensuring laboratory-scale testing of an electrospinning product meets commercial-scale needs. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(20). doi:10.1002/app.44836.
- Lin, T. y Wang, X. (2013). *Needleless electrospinning of Nanofibers: Technology and Applications*. CRC Press, Florida
- Liu, M., Gao, Y., Yuan, Y., Shi, S., Wu, J., Tian, J., y Zhang, J. (2021). An evidence mapping and scientometric analysis of the top-100 most cited clinical trials of anti-PD-1/PD-L1 drugs to treat cancers. *Biomedecine & Pharmacotherapie [Biomedicine & Pharmacotherapy]*, 143(112238), 112238.
- Liu, Y. C., M., L., y Wang, X. L. (2012). *Application of self-organizing maps in text clustering: a review, SelfOrganizing Maps*. Applications and Novel Algorithm Design, InTech.
- Luo, C. J., Stoyanov, S. D., Stride, E., Pelan, E., & Edirisinghe, M. (2012). Electrospinning versus fibre production methods: from specifics to technological convergence. *Chemical Society Reviews*, 41(13), 4708. doi: 10.1039/c2cs35083a
- Maltarollo, V.G., Honório, K.M. y Ferreira da Silva, A.B. (2013). Applications of artificial neural networks in chemical problems. In K. Suzuki (Ed.), *Artificial Neural Networks - Architectures and Applications*. London, England: InTech.
- Miles, I., Saritas, o. y Sokorov, A. (2016). Foresight for Science, Technology and Innovation. *Springer*. ISBN 978-3-319-32574-3
- Mogoutov, A., y Kahane, B. (2007). Data search strategy for science and technology emergence: A scalable and evolutionary query for nanotechnology tracking. *Research Policy*, 36(6), 893–903.

- Mordor Intelligence. (2021). Nanofiber market - growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2021 - 2026). *Mordor Intelligence*. Recuperado de: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/nanofiber-market>
- Mordor Intelligence. (2022) Wound Care Management Market size, share, report (2022 - 2027). *Mordor Intelligence*. Recuperado de: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-wound-care-management-devices-market-industry>
- Movahed, S. M. A., y Sarmah, A. K. (2021). Global trends and characteristics of nano- and micro-bubbles research in environmental engineering over the past two decades: A scientometric analysis. *The Science of the Total Environment*, 785(147362), 147362.
- Navarro de G., K., Romero de G., E., Bauza, R. y Granadillo, V. (2006). Estudio sobre la gestión tecnológica y del conocimiento en una organización creadora de conocimiento. *Revista Venezolana de Gerencia*, 11(34), 262-276. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=290/29003407>
- Navarro-Pardo, F., Martínez-Barrera, G., Martínez-Hernández, A. L., Castaño, V. M., Rivera-Armenta, J. L., Medellín-Rodríguez, F., y Velasco-Santos, C. (2013). Effects on the thermo-mechanical and crystallinity properties of nylon 6, 6 electrospun fibres reinforced with one dimensional (1D) and two dimensional (2D) carbon. *Materials*, 6(8), 3494-3513. doi: 10.3390/ma6083494
- Navarro-Pardo, F., Rivera-López, A., Sánchez-Labastida, V., Martínez-Hernández, A., y Velasco-Santos, C. (2014). Statistical Study of Process Parameters Effects on Crystallinity of Electrospun Polyamide 6, 6 Fibres. Doi: 10.3390/ecm-1-c007
- Navarro-Pardo, F., Martínez-Hernández, A. L., y Velasco-Santos, C. (2016). Carbon nanotube and graphene based polyamide electrospun nanocomposites: a review. *Journal of Nanomaterials*, 2016. doi: 10.1155/2016/3182761
- Niu, H., Lin, T., y Wang, X. (2009). Needleless electrospinning. I. A comparison of cylinder and disk nozzles. *Journal of Applied Polymer Science*, 114(6), 3524–3530. doi:10.1002/app.30891
- Núñez de Schilling, E. (2011). Gestión tecnológica en la empresa: definición de sus objetivos fundamentales. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XVII (1) ,156-166 ISSN: 1315-9518. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=280/28022755013>
- Palit, S., y Hussain, C. M. (2020). Functionalization of nanomaterials for industrial applications: recent and future perspectives. En *Handbook of Functionalized Nanomaterials for Industrial Applications* (pp. 3–14). Elsevier.



- Palop, F. y Vicente, J. M. (1999). Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. Su potencial para la empresa española. *Fundación Cotec para la Innovación Tecnológica*. España. Recuperado de: [https://www.eenasque.net/guia\\_transferencia\\_resultados/files/COTEC%20-%20Vigilancia%20Tecnologica%20e%20Inteligencia%20Competitiva%20-%20su%20potencial%20para%20la%20empresa%20espanola.pdf](https://www.eenasque.net/guia_transferencia_resultados/files/COTEC%20-%20Vigilancia%20Tecnologica%20e%20Inteligencia%20Competitiva%20-%20su%20potencial%20para%20la%20empresa%20espanola.pdf)
- Paz, G. (2015). Technology Roadmapping: Herramienta para el desarrollo de capacidades de gestión tecnológica. *ResearchGate*. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/282442659\\_Technology\\_Roadmapping\\_Herramienta\\_para\\_el\\_desarrollo\\_de\\_capacidades\\_de\\_gestion\\_tecnologica](https://www.researchgate.net/publication/282442659_Technology_Roadmapping_Herramienta_para_el_desarrollo_de_capacidades_de_gestion_tecnologica)
- Peláez, J.J., y Sabater, R. (2001). *Observatorio tecnológico: El caso de la Región de Murcia*. Revista de Investigación en Gestión de la Innovación y Tecnología. RECURSOS HUMANOS E INNOVACIÓN. Número 7, Octubre - Noviembre de 2001. (n.d.). Recuperado de: <https://www.madrimasd.org/revista/revista7/aula/aulas1.asp>
- Pérez-López, C. (2006). *Muestreo Estadístico - Conceptos y Problemas Resueltos*. Pearson Educación.
- Persano, L., Camposeo, A., Tekmen, C., y Pisignano, D. (2013). *Industrial Upscaling of Electrospinning and Applications of Polymer Nanofibers: A Review*. *Macromolecular Materials and Engineering*, 298(5), 504–520. doi:10.1002/mame.201200290
- Pham, D. T., y Liu, X. (2012). *Neural Networks for Identification, Prediction and Control* (English Edition) (1. a). Springer.
- Pokropivny, V. V., y Skorokhod, V. V. (2007). Classification of nanostructures by dimensionality and concept of surface forms engineering in nanomaterial science. *Materials Science and Engineering: C*, 27(5-8), 990–993. doi:10.1016/j.msec.2006.09.023
- Probert, D. R., Farrukh, C. J. P., y Phaal, R. (2003). Technology roadmapping—developing a practical approach for linking resources to strategic goals. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 217(9), 1183–1195. doi: 10.1243/095440503322420115
- Qiu, J., Zhao, R., Yang, S., y Dong, K. (2018). *Informetrics: Theory, methods and applications*. Springer.
- Ranjbar Mohammadi, M., Kargozar, S., Bahrami, S. H., y Rabbani, S. (2020). *An excellent nanofibrous matrix based on gum tragacanth-poly ( $\epsilon$ -caprolactone)-poly (vinyl alcohol) for application in diabetic wound healing*. *Polymer Degradation and Stability*, 174, 109105. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2020.109105.

- Research and Markets. (2021). Nanofibers Market Research Report by Product (Carbon Nanofiber, Composite Nanofiber, Metallic Nanofiber, and Polymeric Nanofiber), by End User (Aerospace & Defense, Automotive, Chemical, Electronics, and Energy) - Global Forecast to 2025 - Cumulative Impact of COVID-19. *Research and Markets*. Recuperado de: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4968758/nanofibers-market-research-report-by-product>
- Richey, J. y Grinnell, M. (2004) Evolution of Roadmapping at Motorola, *Research Technology Management*, 47:2, 37-41 Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1080/08956308.2004.11671617>
- Rodriguez, J. y Lloveras, J. (2010). Nueva guía metodológica de roadmapping para proyectos de innovación. *ResearchGate*. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/49241764\\_Nueva\\_guia\\_metodologica\\_d\\_roadmapping\\_para\\_proyectos\\_de\\_innovacion](https://www.researchgate.net/publication/49241764_Nueva_guia_metodologica_d_roadmapping_para_proyectos_de_innovacion)
- Rokach, L., Maimon, O. (2014). *Data Mining with Decision Trees: Theory and Applications (Second Edition) (Machine Perception and Artificial Intelligence)*. WSPC: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd
- de la Rosa-Gatica, J. A., Martínez-Hernández, A. L., Vázquez-Nava, N., García-Casillas, P. E., y Velasco-Santos, C. (2022). Design, development, and experimental setup of near-field electrospinning with a sharp electrode: Influence of procedural parameters on the 3D nanofiber structure. *Review of Scientific Instruments*, 93(1), 013906.
- SalehHudin, H. S., Mohamad, E. N., Mahadi, W. N. L., y Muhammad Afifi, A. (2017). Multiple-jet electrospinning methods for nanofiber processing: A review. *Materials and Manufacturing Processes*, 33(5), 479–498. doi:10.1080/10426914.2017.1388523
- Solleiro, J. y Castañón, R. (2016). Gestión Tecnológica: conceptos y prácticas. *CamBioTec A.C.*, México. ISBN 978-607-96284-4-4. Recuperado de: <http://cambiotec.org.mx/site/wp-content/uploads/2017/09/E-Libro-Gestión-2.pdf>
- Sudha, P. N., Sangeetha, K., Vijayalakshmi, K., y Barhoum, A. (2018). *Nanomaterials history, classification, unique properties, production and market. Emerging Applications of Nanoparticles and Architecture Nanostructures*, 341–384. doi:10.1016/b978-0-323-51254-1.00012-9
- Sumathi, S., Rajappa, S. V., Kumar, L. A., & Paneerselvam, S. (2022). *Machine learning for decision sciences with case studies in python*. Boca Raton: CRC Press.
- Tahir, A., Almas, B. y Aqsa, T. (2020). Chemistry of nanomaterials: fundamentals and applications. *Elsevier*. doi: 10.1016/B978-0-12-818908-5.00001-9

- Thoppey, N. M., Bochinski, J. R., Clarke, L. I., & Gorga, R. E. (2010). Unconfined fluid electrospun into high quality nanofibers from a plate edge. *Polymer*, 51(21), 4928–4936. doi:10.1016/j.polymer.2010.07.046
- Vega-González, L. R. (2003). Evaluación, avalúo y ciclo de vida de la tecnología (Parte 1). *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 4(3), 145–156. Universidad Nacional Autónoma de México. doi:10.22201/fi.25940732e.2003.04n3.012
- Waleska, M., Díaz, S. y Hernández, L. (2004). Tendencias de la mercadotecnia en el siglo XXI. *Tendencias*. 5. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/228716941\\_TENDENCIAS\\_DE\\_LA\\_MERCA\\_DOTECNIA\\_EN\\_EL\\_SIGLO\\_XXI](https://www.researchgate.net/publication/228716941_TENDENCIAS_DE_LA_MERCA_DOTECNIA_EN_EL_SIGLO_XXI)
- Záyago, E., Foladori, G., Appelbaum, P., y Arteaga, E. (2013). Empresas nanotecnológicas en México: hacia un primer inventario. *Estudios sociales*. 21(42), 9-25. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-45572013000200001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572013000200001&lng=es&tlng=es).