

## CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## **UNIDAD ZACATENCO**

## PROGRAMA DE DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO PARA LA SOCIEDAD

# "Análisis de la investigación y desarrollo de la nanomedicina en México"

TESIS

Que presenta

Roberto Soto Vázquez

Para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS** 

en la Especialidad de

# DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO PARA LA SOCIEDAD

Directores de tesis: Dr. Edgar Záyago Lau

Dr. Luis Alfonso Maldonado López

Ciudad de México

Febrero 2023

### **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para cursar estudios de doctorado y por el apoyo brindado a través del Proyecto Ciencia de Frontera No. 304320.

Al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV) y a su Programa de Doctorado en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad (DCTS) por la formación otorgada.

A mis directores de tesis, Dr. Edgar Záyago Lau y Dr. Luis Alfonso Maldonado López, por el excelente asesoramiento, tiempo y consejos que me brindaron a lo largo de todo el proyecto.

A mi comité asesor integrado por el Dr. Miguel Ángel Pérez Angón, Dr. Yasuhiro Matsumoto Kuwabara, Dr. José Gerardo Cabañas Moreno y Dr. Arturo Hernández Hernández. A todos les agradezco sus revisiones y comentarios.

A los investigadores del campo de la nanomedicina que amable y generosamente me permitieron entrevistarlos. Su participación fue muy valiosa para este proyecto.

A la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS) por enriquecer la discusión de este trabajo.

Al personal del programa DCTS, en especial a la Sra. Sonia Solórzano y al Lic. Miguel Sosa, por su apoyo en los asuntos administrativos y de cómputo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	<b>v</b> i
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Planteamiento del problema	9
1.2 Preguntas de investigación	9
1.3 Hipótesis	9
1.4 Objetivos	10
1.4.1 Objetivo general	10
1.4.2 Objetivos específicos	10
1.5 Justificación	11
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1 NANOMEDICINA	13
2.1.1 Nanotecnología y nanomedicina	13
2.1.2 Áreas de aplicación de la nanomedicina	14
2.1.3 Riesgos, ética y regulación de la nanomedicina	19
2.2 ACTIVIDADES DE I+D SOBRE NANOMEDICINA EN MÉXICO	19
2.2.1 Revisión de trabajos previos	20
3. METODOLOGÍA	21
3.1 Estudio bibliométrico	21
3.2 Análisis de patentes	24
3.3 Identificación de grupos y proyectos de investigación	25
3.4 Identificación de empresas y productos	29
3.5 Análisis de las enfermedades reportadas en artículos y patentes	29
3.6 Entrevistas	30
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1 Producción científica	33
4.2 Patentes	40
4.3 Grupos y proyectos de investigación	45
4.4 Empresas y productos	48
4.5 Relación de la I+D con las necesidades prioritarias de salud en México	50
4.6 Entrevistas	55

5	. CONCLUSIONES	63
6	. REFERENCIAS	67
	Anexo 1: Carta de consentimiento informado para las entrevistas	74
	Anexo 2: Guion de las entrevistas semiestructuradas	75
	Anexo 3: Cuerpos académicos del PRODEP de nanomedicina	77
	Anexo 4: Proyectos de investigación en nanomedicina de IES federales y privadas	89
	Anexo 5: Temas de investigación en nanomedicina de los centros de investigación	92
	Anexo 6: Publicaciones derivadas del proyecto de tesis	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Funcionamiento de la terapia de hipertermia magnética (Lemine, 2019)	16
Figura 2. Imágenes de rayos X de las patas traseras de un ratón: a) sin agente de contr	raste,
b) con un agente de contraste a base de nanopartículas de oro. En b) se distinguen los	vasos
sanguíneos y en a) no. (Hainfeld et al., 2006).	17
Figura 3. Publicación de artículos por año a lo largo del periodo 2000-2021	33
Figura 4. Nubes de palabras con los términos más frecuentes en los artículos en cada	área:
a) medicamentos y sistemas de liberación de agentes terapéuticos, b) terapia, c)	
diagnóstico, d) dispositivos médicos, e) medicina regenerativa / ingeniería de tejidos,	f)
vacunas, g) nanomateriales para aplicaciones médicas, y h) otros / no específicos	36
Figura 5. Autores con mayor número de artículos.	37
Figura 6. Instituciones con el mayor número de artículos	38
Figura 7. Colaboraciones institucionales en la investigación sobre nanomedicina en	
México	39
Figura 8. Colaboraciones internacionales de México en el campo de la nanomedicina	39
Figura 9. Patentes otorgadas por año en el campo de la nanomedicina en México	40
Figura 10. a) Patentes de propietarios mexicanos y extranjeros. b) patentes otorgadas	por
país	41

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sucesos importantes en el desarrollo de la nanomedicina	. 13
Tabla 2. Ejemplos de nanomedicamentos que han sido aprobados por la FDA	. 15
Tabla 3. Ejemplos de dispositivos médicos nanoestructurados	. 17
Tabla 4. Trabajos previos sobre la I+D de nanomedicina en México.	. 20
Tabla 5. Cadenas de búsqueda utilizadas en WoS	
Tabla 6. Filtros aplicados en el SIGA para la búsqueda de patentes.	. 24
<b>Tabla 7</b> . Filtros aplicados en la base de datos del PRODEP para la búsqueda de cuerpos	
académicos que trabajan con temas de nanotecnología	. 26
Tabla 8. Sitios web consultados de IES federales y centros de públicos de investigación.	26
<b>Tabla 9</b> . Filtros aplicados en el padrón del COPAES para la búsqueda de programas	
educativos de nanotecnología en IES privadas	. 28
Tabla 10. Sitios web consultados de las IES privadas	. 28
Tabla 11. Características de los distintos tipos de entrevistas	. 30
Tabla 12. Distribución de los artículos por área	. 34
Tabla 13. Patentes otorgadas en cada área	.41
Tabla 14. Propietarios con el mayor número de patentes otorgadas	. 42
Tabla 15. Propietarios mexicanos de patentes	. 43
Tabla 16. Términos más frecuentes en las patentes	. 44
Tabla 17. IES con cuerpos académicos del PRODEP relacionado con nanomedicina	. 46
Tabla 18. Proyectos de las IES federales y privadas que no están el PRODEP	. 47
<b>Tabla 19</b> . Áreas de la nanomedicina que se investigan en los centros públicos de	
investigación.	. 48
Tabla 20. Productos relacionados con la nanomedicina.	. 49
Tabla 21. Empresas relacionadas con nanomedicina.	. 49
Tabla 22. Principales causas de defunción en México	. 51
Tabla 23. Enfermedades identificadas en los artículos	. 52
Tabla 24. Enfermedades identificadas en las patentes	. 52
Tabla 25. Artículos y patentes relacionadas con las principales causas de muerte	. 53
Tabla 26. Perfil de los entrevistados	
Tabla 27. Desafíos que enfrenta la nanomedicina en México según los entrevistados	. 60
Tabla 28. Perspectivas a futuro de los entrevistados sobre la nanomedicina en México	. 62

### **RESUMEN**

La nanomedicina, es decir, la aplicación de la nanotecnología en el sector salud, está incidiendo en la mejora del diagnóstico, control y tratamiento de enfermedades. A pesar de la relevancia de la nanomedicina, en México hay una escasez de conocimiento sobre las actividades de investigación, desarrollo y emprendimiento que se están llevando a cabo en este sector. La presente investigación doctoral contribuye a subsanar esta laguna de conocimiento a través de los siguientes objetivos: 1) dilucidar el estado actual de la investigación y desarrollo (I+D) de la nanomedicina en México, 2) identificar empresas y productos nanomédicos en el mercado mexicano, 3) analizar la relación de la I+D con las necesidades prioritarias de salud en México, y 4) determinar los desafíos que enfrenta la I+D de nanomedicina en el país en cuanto a financiamiento, patentamiento y transferencia tecnológica. El cumplimiento de estos objetivos se logró mediante una metodología mixta cuanti-cuali compuesta por seis etapas: 1) estudio bibliométrico, 2) análisis de patentes, 3) identificación de grupos y proyectos de investigación, 4) identificación de empresas y productos, 5) análisis de las enfermedades reportadas en artículos y patentes, y 6) entrevistas a expertos. Como resultado se encontró que en el periodo 2000-2021 se publicaron 1306 artículos científicos de autores mexicanos y se otorgaron 307 patentes de nanomedicina en México. También se encontró que 30 instituciones de educación superior y 6 centros de investigación del país tienen proyectos de investigación relacionados con nanomedicina. Asimismo, se identificaron 13 empresas y 5 productos afines al sector nanomédico. En cuanto a la relación de la I+D con las necesidades prioritarias de salud en México, se encontró que la producción científica y de patentes se ha enfocado en el estudio de tumores malignos (la tercera causa de muerte en el país), pero se ha prestado poca atención a las enfermedades del corazón y diabetes, que representan la primera y segunda causa de muerte en México, respectivamente. Finalmente, a través de las entrevistas a expertos, se identificaron los principales desafíos que enfrenta la I+D de nanomedicina en México: financiamiento reducido, pocos estímulos para patentar y escasa transferencia tecnológica.

### **ABSTRACT**

Nanomedicine (the application of nanotechnology in the health sector) is having an impact on improving the diagnosis, control and treatment of diseases. Despite the relevance of nanomedicine, in Mexico there is a lack of knowledge about the research, development and entrepreneurship activities in this sector. The present doctoral research contributes to fill this knowledge gap through the following objectives: 1) determine the current state of research and development (R&D) of nanomedicine in Mexico, 2) identify companies and nanomedical products in the Mexican market, 3) analyze the relationship between R&D and health priorities in Mexico, and 4) determine the challenges faced by nanomedicine R&D in Mexico in terms of financing, patenting and technology transfer. The fulfillment of these objectives was achieved by means of a mixed quantitative-qualitative methodology composed of six stages: 1) bibliometric study, 2) patent analysis, 3) identification of research groups and projects, 4) identification of companies and products, 5) analysis of diseases reported in articles and patents, and 6) interviews with experts. As a result, it was found that in the period 2000-2021, 1306 scientific articles were published by Mexican authors and 307 nanomedicine patents were granted in Mexico. It was also found that 30 higher education institutions and 6 research centers have research projects related to nanomedicine. Likewise, 13 companies and 5 products related to the nanomedical sector were identified. Regarding the relationship between R&D and health priorities in Mexico, it was found that the articles and patents have focused on the study of malignant tumors (the third cause of death in the country), but little attention has been given to heart diseases and diabetes (the first and second cause of death respectively). Finally, through interviews with experts, the main challenges faced by nanomedicine R&D in Mexico were identified: reduced funding, few incentives to patent and little technology transfer.

## 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

La nanomedicina, es decir, la aplicación de la nanotecnología en medicina, ofrece nuevas posibilidades para atender los problemas de salud que enfrenta nuestra sociedad, pues mejora el diagnóstico, tratamiento y control de enfermedades. No obstante, a pesar de la relevancia de este campo, en México hay una escasez de conocimiento en cuanto a lo que se está haciendo en materia de investigación y desarrollo (I+D), comercialización de productos nanomédicos y su impacto en la sociedad.

Contar con información sobre las actividades de I+D en el área médica es de gran importancia porque dicho conocimiento sirve de guía para la toma de decisiones (Røttingen et al., 2013). Algunos rubros donde esta información puede incidir son los siguientes: a) establecimiento de prioridades para la I+D, b) uso más eficiente de recursos escasos, y c) mejoramiento de las decisiones de inversión evitando la duplicidad de esfuerzos.

A partir de estos hechos, surge la necesidad de realizar una investigación sobre el panorama actual de la I+D de la nanomedicina en México.

## 1.2 Preguntas de investigación

- 1. ¿Cuál es el estado actual de la I+D de la nanomedicina en México?
- 2. ¿Cuántas empresas, de qué tipo y qué productos de nanomedicina existen en México?
- 3. ¿De qué manera la I+D en nanomedicina ha contribuido a atender los problemas de salud que enfrenta la sociedad mexicana?
- 4. ¿Cuáles son los desafíos que enfrenta la I+D de la nanomedicina en México en cuanto a financiamiento, patentamiento y transferencia tecnológica?

## 1.3 Hipótesis

La hipótesis de esta investigación comprende de los siguientes supuestos:

1. En México, las actividades de I+D en nanomedicina (representadas por las publicaciones científicas y patentes otorgadas en el área) se han incrementado en los

- últimos años tal como ha venido ocurriendo a nivel internacional (Bragazzi, 2019; Choi & Hong, 2020).
- 2. Las empresas y productos de nanomedicina en México son escasos; además existe incertidumbre en cuanto a la calidad y los riesgos de estos productos debido a la falta de una normatividad adecuada que los regule.
- 3. Las actividades de I+D en nanomedicina no guardan mucha relación con las necesidades del país en materia de salud, debido en gran parte a la falta de una iniciativa nacional en nanotecnología que permita orientar los esfuerzos investigativos en este sentido.
- 4. Los desafíos que enfrenta la I+D de la nanomedicina en México son el reducido financiamiento, escaso patentamiento e incipiente transferencia tecnológica debido a la poca vinculación con empresas y hospitales.

## 1.4 Objetivos

## 1.4.1 Objetivo general

Analizar el panorama de la I+D de la nanomedicina en México y sus desafíos en cuanto a financiamiento, patentamiento y transferencia tecnológica.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Dilucidar el estado actual de la investigación y desarrollo (I+D) de la nanomedicina en México a través de una exploración de los artículos publicados, patentes otorgadas, grupos y proyectos de investigación.
- 2. Identificar las empresas y productos del sector nanomédico que existen en México.
- 3. Examinar la relación que existe entre las actividades de I+D y las necesidades prioritarias de salud en México.
- 4. Determinar los desafíos que enfrenta la I+D de la nanomedicina en México en cuanto a financiamiento, patentamiento y transferencia tecnológica, a través de entrevistas a expertos en el área.

### 1.5 Justificación

El presente proyecto está alineado con los objetivos del Programa de Doctorado en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad del CINVESTAV, el cual promueve la investigación de temas socialmente relevantes con un enfoque transdisciplinario.

La nanomedicina tiene relevancia social porque ofrece alternativas novedosas para atender los problemas de salud que enfrenta la sociedad. La nanomedicina está contribuyendo a mejorar los tratamientos existentes y a desarrollar nuevos tratamientos contra el cáncer y otras enfermedades tales como las cardiovasculares, autoinmunes, neurológicas, infecciosas, entre otras (Martins et al., 2020).

En tiempos recientes, la nanomedicina ha cobrado una importancia todavía mayor debido a sus contribuciones para enfrentar la pandemia de COVID-19 (Soto Vázquez et al., 2022b; Záyago Lau et al., 2021), enfermedad que ya es considerada como el problema de salud pública más grande que ha enfrentado la humanidad en lo que va del presente siglo (Caycho-Rodríguez et al., 2022). En este rubro, la nanomedicina ha contribuido principalmente con el desarrollo de vacunas nanoestructuradas para combatir dicha enfermedad (Nature Nanotechnology, 2020).

La relevancia de la nanomedicina también se puede apreciar a través de su impacto económico. En 2016, el mercado de la nanomedicina a nivel mundial alcanzó un valor aproximado de 138 mil millones de dólares, y se estima que para 2025 superará los 350 mil millones de dólares (Halwani, 2022).

Por último, la nanomedicina tiene un carácter altamente transdisciplinario (Riehemann et al., 2009). La transdisciplinariedad, hablando específicamente en el área médica, implica trascender las fronteras disciplinarias, enfocarse en problemas del mundo real y considerar las múltiples partes interesadas, incluyendo a los pacientes (Van Bewer, 2017). En este sentido, la nanomedicina se sustenta en conocimientos provenientes de distintas disciplinas tales como la ingeniería, química, física, biología, medicina y farmacología (Nance, 2019), y además requiere de la interacción de diversos agentes, entre los que se encuentran investigadores, personas afectadas por la investigación, pacientes, el público en general y empresarios. (Massaro & Lorenzoni, 2021).

Los hechos arriba mencionados justifican la realización de este proyecto dentro del Programa de Doctorado en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad del CINVESTAV.

## 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 NANOMEDICINA

## 2.1.1 Nanotecnología y nanomedicina

La nanotecnología es un campo interdisciplinario de la ciencia que comprende el diseño de componentes, materiales, dispositivos y/o sistemas a escala nanométrica (1-100 nm) (Patel et al., 2021). En este rango de tamaños, el área de la superficie de los materiales es relativamente más grande en comparación con el área de la misma masa de material a una escala mayor. Esto, y la manifestación de propiedades cuánticas, hace que los nanomateriales sean químicamente más reactivos y además adquieran propiedades novedosas en el aspecto óptico, mecánico, eléctrico y magnético (Devasahayam, 2019). Estas propiedades novedosas de los nanomateriales han permitido que la nanotecnología tenga aplicación en sectores tan diversos como como la agricultura, medio ambiente, energía, industria aeroespacial, ciencia de materiales y medicina (Nasrollahzadeh et al., 2019).

La aplicación de la nanotecnología en medicina recibe el nombre de nanomedicina, y esta involucra el uso de nanomateriales para diagnosticar, monitorear, prevenir y tratar enfermedades a nivel molecular (Abdel-Mageed et al., 2021).

La nanomedicina es una disciplina joven con apenas unas décadas de existencia (Krukemeyer et al., 2015), cuyo desarrollo se ha visto marcado por los acontecimientos mostrados en la Tabla 1.

**Tabla 1**. Sucesos importantes en el desarrollo de la nanomedicina.

Año	Acontecimiento		
1959	Richard Feynman sugiere la posibilidad de manipular la materia a nivel atómico.		
1974	Inicio del desarrollo de la electrónica molecular por Aviram y Rattner.		
1974	Norio Tanaguchi acuña el término de nanotecnología.		
1981	Drexler plantea la idea de diseñar máquinas moleculares análogas a enzimas y		
	ribosomas.		
1987	Primeros estudios sobre el uso de nanopartículas para el tratamiento contra el cáncer.		
1994	Primeros estudios sobre la administración dirigida de fármacos con nanopartículas.		
1995	La Administración de Medicamentos y Alimentos de Estados Unidos (Food and Drug		
	Administration, FDA) aprobó el Doxil, un agente quimioterapéutico transportado a		
	través de liposomas a nanoescala.		
1997	Fundación de la primera empresa de nanotecnología molecular: Zyvex Corporation.		

Año	Acontecimiento			
1998	Primer uso de nanocristales como marcadores biológicos que demostraron ser			
	superiores a los fluoróforos existentes.			
1998	Aparición del término 'nanomedicina' en publicaciones científicas.			
2005	La FDA aprobó el medicamento Abraxane ™, un taxano basado en nanotecnología que			
	sirve para tratar el cáncer de mama. La forma nanoparticulada del medicamento supera			
	los problemas de insolubilidad encontrados en otros fármacos y evita el uso de			
	solventes tóxicos.			
2014	Un científico alemán y dos estadounidenses recibieron el Premio Nobel de Química por			
	el descubrimiento de la nanoscopía.			
2020	Desarrollo de vacunas nanoestructuradas contra el SARS-CoV-2, virus causante del			
	COVID-19.			

Adaptado de Jain (2017)

## 2.1.2 Áreas de aplicación de la nanomedicina

La nanomedicina tiene aplicaciones en diversas áreas del sector salud: a) medicamentos y sistemas de liberación de agentes terapéuticos, b) terapia, c) diagnóstico, d) dispositivos médicos, e) medicina regenerativa / ingeniería de tejidos, y f) vacunas. A continuación se exponen algunas de las contribuciones más relevantes de la nanomedicina en dichas áreas.

## a) Medicamentos y sistemas de liberación de agentes terapéuticos

La nanomedicina ha permitido el desarrollo de nanotransportadores (*nanocarriers*), es decir, nanoestructuras que sirven para enviar moléculas de fármacos a partes específicas del cuerpo humano. Los nanotransportadores pueden estar basados en nanopartículas poliméricas, nanopartículas superparamagnéticas, puntos cuánticos, dendrímeros y nanopartículas sólidas lipídicas (Chamundeeswari et al., 2019). Estas nanoestructuras, debido a su tamaño, pueden atravesar con mayor facilidad las barreras biológicas y fisiológicas, lo cual mejora la eficiencia en el envío de fármacos. Asimismo, los nanotransportadores, mediante la manipulación de sus propiedades superficiales, pueden ser dirigidos de forma específica a los órganos y tejidos enfermos, lo cual reduce los efectos secundarios ocasionados por la propagación de fármacos en órganos y tejidos sanos. Esto último es de particular relevancia en el desarrollo de nuevos tratamientos contra el cáncer, pues las quimioterapias convencionales carecen de selectividad hacia las células cancerosas y provocan efectos secundarios adversos que disminuyen la calidad de vida de los pacientes (Chidambaram et al., 2011).

Los nanotransportadores no solamente se utilizan en el envío o liberación de fármacos (*drug delivery*), sino también en la liberación de otros agentes terapéuticos. Por ejemplo, se han desarrollado nanotransportadores para el envío dirigido de genes (*gene delivery*) que pueden ser aplicados en el tratamiento de la enfermedad de Parkinson (Martinez-Fong et al., 2012).

Actualmente, a nivel internacional, existen en el mercado varios nanomedicamentos; en la Tabla 2 se presentan algunos de ellos.

**Tabla 2.** Ejemplos de nanomedicamentos que han sido aprobados por la FDA.

Nombre Categoría		Indicación	Año de aprobación	Fabricante
Doxil®	Nanopartículas lipídicas	Varios tipos de cáncer	1995	Janssen
Atridox®	Nanopartículas poliméricas	Periodontitis crónica en adultos	1998	Tolmar
Plegridy®	Conjugados polímero- fármaco	Esclerosis múltiple	2014	Biogen
Copaxone® Fármacos poliméricos		Esclerosis múltiple	1996	Teva
Abraxane®	Nanopartículas proteicas	Varios tipos de cáncer	2005	Celgene
Injectafer®	Nanopartículas metálicas	Anemia por deficiencia de hierro	2013	Vifor
Invega Trinza®	Nanocristales	Esquizofrenia	2015	Janssen

Fuente: Younis et al. (2022)

### b) Terapia

En el área de terapia médica, la nanomedicina también ha hecho aportaciones relevantes. Un ejemplo de esto es la hipertermia magnética, un tipo de terapia anticáncer en la que se utilizan nanopartículas para destruir los tumores cancerosos. En la Figura 1 se ilustra el funcionamiento de la hipertermia magnética: al paciente se le suministran nanopartículas magnéticas que son dirigidas específicamente hacia el tumor, después las nanopartículas se estimulan a través de un campo magnético produciendo un incremento de temperatura, y finalmente, las células cancerosas mueren a causa de la temperatura elevada (Lemine, 2019).

Además de la hipertermia magnética, existen otros tipos de terapia donde interviene la nanomedicina, por ejemplo, la fototerapia (Zhen et al., 2019), radioterapia (Haume et al., 2016) y terapia génica (Liu & Zhang, 2011), solo por mencionar algunos.

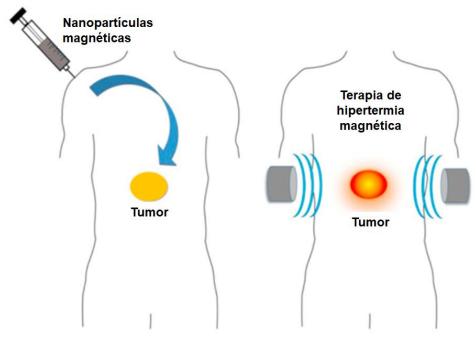


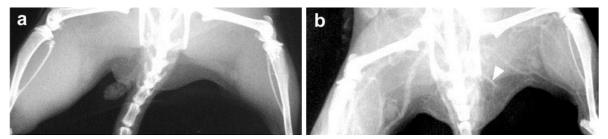
Figura 1. Funcionamiento de la terapia de hipertermia magnética (Lemine, 2019).

## c) Diagnóstico

La nanomedicina ha propiciado importantes avances en dos áreas del diagnóstico médico: imagenología in vivo y biosensores médicos. La imagenología in vivo es una herramienta de diagnóstico que consiste en la obtención de imágenes del interior del cuerpo humano a través de técnicas tales como resonancia magnética, tomografía computarizada y tomografía por emisión de positrones. El uso de nanopartículas como agentes de contraste mejora notablemente la calidad de las imágenes que se obtienen con estas técnicas, lo que se ha aprovechado en la detección temprana de tumores cancerosos (Kalra et al., 2021). Algunas nanoestructuras que se han usado como agentes de contraste son las nanopartículas de óxido de hierro, nanopartículas de oro y puntos cuánticos (Thirugnanasambandan, 2021). En la Figura 2 se ilustra el incremento en la resolución de imágenes de rayos X al utilizar nanopartículas de oro como agentes de contraste.

Respecto a biosensores médicos, estos dispositivos se utilizan en el diagnóstico de enfermedades que requieren análisis de muestras in vitro. La incorporación de componentes nanoestructurados en los biosensores ha incrementado la eficiencia y sensibilidad de estos dispositivos, permitiendo hacer diagnósticos rápidos y precisos con muestras muy pequeñas (Huang et al., 2021). Por mencionar algunos ejemplos, se han construido biosensores

nanoestructurados para la detección de glucosa, colesterol, *Escherichia coli*, virus de la influenza, virus del papiloma humano, dopamina y ácido glutámico (Kumar et al., 2015).



**Figura 2**. Imágenes de rayos X de las patas traseras de un ratón: a) sin agente de contraste, b) con un agente de contraste a base de nanopartículas de oro. En b) se distinguen los vasos sanguíneos y en a) no. (Hainfeld et al., 2006).

## d) Dispositivos médicos

El uso de nanomateriales en dispositivos médicos es cada vez más frecuente. La nanotecnología aplicada al desarrollo de dispositivos médicos persigue los siguientes propósitos, aunque no se limita a ellos: a) materiales más ligeros pero reforzados mecánicamente (por la inclusión de nanotubos de carbono), b) materiales capaces de imitar sistemas biológicos para aumentar su biocompatibilidad, c) materiales bioabsorbibles, y d) materiales con actividad farmacológica intrínseca o capaces de liberar un fármaco activo (Pallotta et al., 2019). En la Tabla 3 se presentan algunos ejemplos de dispositivos médicos nanoestructurados que ya se encuentran en el mercado.

**Tabla 3**. Ejemplos de dispositivos médicos nanoestructurados.

Órgano Dispositivo médico		Nombre comercial	Nanotecnología	Fabricante (país)	
	Textil antimicrobiano	Magic silver nano (Mipan)	Nanopartículas de plata	Hyosung (Corea)	
Piel	Aguja de sutura	Sandvik Bioline 1RK91	Nanocristales de acero	AB Sandvik Materials Technology (Suecia)	
Ojos	Implante de retina	Argus	Componentes nanoelectrónicos	Second Sight Medical Products (Estados Unidos)	
D	Máscara quirúrgica	NanoMask	Nanopartículas de óxido de magnesio y dióxido de titanio	Nano Mask, Inc (Estados Unidos)	
Boca	Máscara quirúrgica que filtra el virus de la influenza	NanoFenseTM	Nanopartículas de plata	Applied Nanosciences (Estados Unidos)	

Órgano	Dispositivo médico	Nombre comercial	Nanotecnología	Fabricante (país)
Dientes	Implante dental metálico	NanoImplant	Nanopartículas de titanio	Timplant (República Checa)
Huesos	Prótesis ortopédicas	Nanos Symax	Recubrimiento microporoso con nanocristales de hidroxiapatita	Smith and Nephew (Reino Unido)
Abdomen	Malla para hernia ventral	NovaMesh	Nanofibras electrohiladas	Nicast (Israel)

Fuente: Pallotta et al. (2019)

## e) Medicina regenerativa / ingeniería de tejidos

Los términos "medicina regenerativa" e "ingeniería de tejidos" comúnmente se utilizan como sinónimos (Berthiaume et al., 2011), aunque algunos autores puntualizan que la ingeniería de tejidos es un subcampo de la medicina regenerativa (Katari et al., 2015). En cualquier caso, ambos términos se refieren al reemplazo o reparación de tejidos enfermos o dañados. Las aportaciones más destacadas de la nanomedicina en este rubro se relacionan con el diseño de andamios (*scaffolds*) nanoestructurados, los cuales sirven de soporte para el crecimiento de las células durante la regeneración de tejidos. Estos andamios nanoestructurados tienen propiedades bioquímicas, mecánicas y eléctricas similares a las de los tejidos nativos que mejoran la adhesión, proliferación, diferenciación y maduración celular (Kim et al., 2014).

#### f) Vacunas

Las vacunas son los métodos de prevención más efectivos contra las enfermedades infecciosas y representan uno de mayores éxitos de la medicina; sin embargo, no todas las vacunas son capaces de provocar respuestas inmunitarias potentes y duraderas (Facciolà et al., 2019). En este sentido, la nanomedicina ha permitido el desarrollo de nanovacunas que inducen respuestas inmunitarias más fuertes. Estas nuevas vacunas contienen nanopartículas proteicas, lipídicas, metálicas o poliméricas, que sirven como vehículos para el envío de antígenos (Rosales-Mendoza & González-Ortega, 2019). Como ejemplos de estas nanovacunas se pueden mencionar las desarrolladas por las empresas *BioNTech/Pfizer* y *Moderna* para COVID-19 (Nature Nanotechnology, 2020).

## 2.1.3 Riesgos, ética y regulación de la nanomedicina

A pesar de los grandes beneficios de la nanomedicina, existen algunas preocupaciones en cuanto a riesgos, ética y regulación. Solo por mencionar algunos ejemplos, en cuestión de riesgos hay incertidumbre sobre la posible toxicidad de los nanomateriales en el cuerpo humano (Wu et al., 2020); en el aspecto ético se plantean problemas de inequidad en el acceso a los productos nanomédicos (Graur et al., 2011); y en el tema de regulación, algunos países carecen de marcos normativos específicos para la nanomedicina (Rahim, 2019).

En este sentido, como parte de este proyecto de tesis, se realizó una revisión de la literatura sobre gobernanza de la nanomedicina donde se abordaron aspectos éticos, regulatorios y de riesgos; dicho trabajo se presenta en otro lugar (Soto Vázquez et al., 2022a).

## 2.2 ACTIVIDADES DE I+D SOBRE NANOMEDICINA EN MÉXICO

Se prevé que la nanomedicina tendrá repercusiones positivas en México, pues contribuirá a incrementar la calidad y esperanza de vida de las personas, y también mejorará los sistemas de prevención y tratamiento de algunas enfermedades frecuentes que hasta ahora no son atendidas (Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión, 2019).

Dada la importancia que tiene la nanomedicina para nuestro país, es necesario contar con información actualizada sobre las actividades de I+D que se están llevando a cabo en este rubro; sin embargo, en México no existe ningún registro oficial al respecto. Toda la información de las actividades de I+D sobre nanomedicina en México se encuentra dispersa y desorganizada, pues en nuestro país no se tiene ninguna iniciativa nacional de nanotecnología, ni tampoco un observatorio, que se encarguen de recopilar y sistematizar este tipo de información.

Røttingen et al. (2013) señalan que contar con información sobre las actividades de I+D en el área médica puede ayudar a establecer prioridades para la I+D, hacer un uso más eficiente de recursos escasos y mejorar las decisiones de inversión.

## 2.2.1 Revisión de trabajos previos

Para solventar la falta de registros oficiales sobre las actividades de I+D sobre nanomedicina en México, se han realizado algunos esfuerzos desde la academia para recopilar y sistematizar este tipo información. En la Tabla 4 se listan los trabajos que se han hecho al respecto.

**Tabla 4**. Trabajos previos sobre la I+D de nanomedicina en México.

Referencia	Contribución	
(Robles-Belmont, 2014)	Se analizan las colaboraciones científicas internacionales de México en el campo de la nanomedicina hasta el año 2012.	
(Invernizzi et al., 2015)	Se reporta información sobre la producción científica y grupos de investigación de nanomedicina en México hasta el año 2013.	
(Robles-Belmont et al., 2017)	Se identifican áreas temáticas y comunidades científicas en la producción científica de nanomedicina en México hasta el año 2014.	

Como se puede observar en la Tabla 4, los trabajos que se han hecho sobre el tema son pocos y estos se han enfocado únicamente en la producción científica de la nanomedicina; falta investigar sobre el patentamiento, empresas, productos nanomédicos y beneficio social. A partir de esta laguna de conocimiento surgió la necesidad de realizar la presente investigación.

## 3. METODOLOGÍA

Se empleó una metodología mixta cuanti-cuali con énfasis en lo cuantitativo. Esta metodología comprendió seis etapas: 1) estudio bibliométrico, 2) análisis de patentes, 3) identificación de grupos y proyectos de investigación, 4) identificación de empresas y productos, 5) análisis de las enfermedades abordadas en artículos y patentes, y 6) entrevistas a expertos. A continuación se explican a detalle cada una de estas etapas.

#### 3.1 Estudio bibliométrico

La examinación de la producción científica sobre nanomedicina en México se llevó a cabo mediante un análisis bibliométrico. Para ello, primeramente se realizó una búsqueda de los artículos publicados por autores mexicanos en el periodo 2000-2021. La elección de este periodo obedece a que fue a partir del año 2000 que la nanomedicina empezó a tener mayor visibilidad en artículos y patentes (Choi & Hong, 2020; Wagner et al., 2008). La búsqueda se realizó en *Web of Science* (WoS), una de las bases de datos bibliográficas más importantes a nivel mundial (Zhu & Liu, 2020).

En la Tabla 5 se muestran las cadenas de búsqueda utilizadas en WoS, las cuales incluyen términos que se han empleado en trabajos previos sobre bibliometría y patentometría de la nanomedicina (Wagner et al., 2006, 2008; Invernizzi et al., 2015; Choi & Hong, 2020), así como términos que se extrajeron de la literatura citada en el marco teórico de esta tesis. Cada una de las cadenas de búsqueda corresponde a un área específica de la nanomedicina, sin embargo, se añadieron otras dos cadenas: "nanomateriales para aplicaciones médicas" y "otros / no específicos". La primera de estas cadenas se añadió para incluir a todos aquellos artículos que se refieren a la síntesis de nanomateriales con potenciales usos en medicina pero que no específican un área de aplicación en particular; la segunda cadena se diseñó para identificar los artículos que incluyen el término "nanomedicine" y que no pertenecen a ninguna de las otras áreas.

**Tabla 5**. Cadenas de búsqueda utilizadas en WoS<sup>1</sup>.

Tabla 5. Cadenas de búsqueda utilizadas en WoS <sup>1</sup> .						
Conjunto	Área	Cadena de búsqueda	Artículos encontrados en WoS	Artículos después del filtrado manual		
#1	Medicamentos y sistemas de liberación de agentes terapéuticos	TS=((nanodrug* OR (nano* AND (drug* OR medicament* OR medication* OR pharmaceutic*)) OR (nano* AND ("drug delivery" OR "gene delivery" OR "protein delivery" OR "peptide delivery" OR "oligonucleotide delivery")) OR (nano* AND deliver* NEAR (drug* OR gene OR genes OR protein* OR peptide* OR polypeptide* OR oligonucleotide* OR "therapeutic agent*"))) NOT (nano2 OR nano3 OR nanolit* OR nanogram* OR nanomol* or nanosec*)) AND CU=mexico AND FPY=(2000-2021) AND DT=(Article)	898	774		
#2	Terapia	TS=((nano* AND ("magnetic hyperthermia" OR "magnetic therap*" OR "hyperthermia therap*" OR phototherap* OR "photothermal therap*" OR "photothermal therap*" OR "photothermal therap*" OR "photodynamic therap*" OR "photo-dynamic therap*" OR radiotherap* OR "radiation therap*" OR chemotherap* OR "combination therap*" OR immunotherap* OR "gene therap*" OR "targeted therap*")) NOT (nano2 OR nano3 OR nanolit* OR nanogram* OR nanomol* or nanosec*)) AND CU=mexico AND FPY=(2000-2021) AND DT=(Article)	231	217		
#3	Diagnóstico	TS=(((nano* AND diagnos* AND ("in vivo imaging" OR "medical imaging" OR "biomedical imaging" OR (imaging AND (medic* OR clinic* OR diseas* OR tumor*)) OR "imaging agent*" "contrast agent*" OR "diagnostic agent*")) OR ((nanosensor* OR nanobiosensor* OR (nano* AND (sensor* OR biosensor*))) AND (diagnos* OR medic* OR clinic* OR diseas* OR tumor*)) OR (nano* AND theranostic*) OR (nano* AND diagnos* AND ("point-of-care" OR "lab-on-a-chip")) OR nanodiagnostic*) NOT (nano2 OR nano3 OR nanolit* OR nanogram* OR nanomol* or nanosec*)) AND CU=mexico AND FPY=(2000-2021) AND DT=(Article)	130	120		

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> La búsqueda en WoS se realizó el 14 de enero de 2022.

Conjunto	Área	Cadena de búsqueda	Artículos encontrados en WoS	Artículos después del filtrado manual
#4	Dispositivos médicos	TS=((nano* AND ("medical device*" OR "medical implant*" OR "biomedical implant*" OR "cochlear implant*" OR "orthopedic implant*" OR "bone implant*" OR "dental implant*" OR "cardiovascular implant*" OR "retinal implant*" OR "orthopedic prosthes*" OR "joint prosthes*" OR "knee prosthes*" OR "medical prosthes*" OR "bone cement*" OR "implantable device*" OR "wound dressing*" OR bandage* OR "antimicrobial textile*" OR "suture needle*" OR "surgical mask*" OR "dental restoration composite*" OR "coronary stent*" OR "drug-eluting stent*" OR "catheter" OR "surgical device*")) NOT (nano2 OR nano3 OR nanolit* OR nanogram* OR nanomol* or nanosec*)) AND CU=mexico AND FPY=(2000-2021) AND DT=(Article)	92	91
#5	Medicina regenerativa / ingeniería de tejidos	TS=((nano* AND ("regenerative medicine" OR "tissue engineering")) NOT (nano2 OR nano3 OR nanolit* OR nanogram* OR nanomol* or nanosec*)) AND CU=mexico AND FPY=(2000-2021) AND DT=(Article)	111	107
#6	Vacunas	TS=(nanovaccine* OR ((nano* AND vaccine*) NOT (nano2 OR nano3 OR nanolit* OR nanogram* OR nanomol* or nanosec*))) AND CU=mexico AND FPY=(2000-2021) AND DT=(Article)	59	54
#7	Nanomateriales para aplicaciones médicas	TS=((nanoparticle* OR nanomaterial* OR "nanostructured material*" OR ((nano* AND (material* OR biomaterial*)) NOT (nano2 OR nano3 OR nanolit* OR nanogram* OR nanomol* or nanosec*))) AND (medicine OR "medical application*" OR "biomedical application*") AND CU=mexico AND FPY=(2000-2021) AND DT=(Article)	298	272
#8	Otros / no específicos	TS=(nanomedicine*) AND CU=mexico AND FPY=(2000-2021) AND DT=(Article) NOT (#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6 OR #7)	35	33
TOTAL		#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6 OR #7 OR #8	1478	1306

La búsqueda en WoS arrojó un resultado de 1478 artículos; sin embargo, se hizo una revisión manual de los títulos y resúmenes de cada uno de estos documentos para verificar

que realmente fueran artículos de nanomedicina. Como resultado de este proceso, se descartaron 172 artículos que no estaban relacionados con la nanomedicina y se obtuvo una cifra final de 1306 artículos. Posteriormente, los datos bibliográficos de estos artículos se sometieron a una limpieza manual con la ayuda del software OpenRefine<sup>2</sup>, a fin de homogenizar los nombres de investigadores e instituciones. Esta limpieza de datos se realizó siguiendo los procedimientos recomendados por la NIH Library<sup>3</sup> (2019). Finalmente, los datos limpios se analizaron con el software Bibliometrix<sup>4</sup> empleando la metodología propuesta por Aria & Cuccurullo (2017).

## 3.2 Análisis de patentes

Se buscaron todas las patentes sobre nanomedicina que se han otorgado en México en el periodo 2000-2021. Para ello se consultó el sitio web del Sistema de Información de la Gaceta de la Propiedad Industrial (SIGA) del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI)<sup>5</sup>, empleando los filtros que se presentan en la Tabla 6. Se utilizó el prefijo "nano" para identificar, en primer lugar, todas las patentes de nanotecnología. Esta búsqueda produjo un resultado de 1334 patentes. Posteriormente se revisaron los títulos y resúmenes de cada una de estas patentes para seleccionar únicamente aquellas que estuvieran relacionadas con nanomedicina, y como resultado se encontraron 307. La información de estas patentes se registró en una tabla de Microsoft Excel con los siguientes campos: número de patente, título, propietario, inventor, país del propietario, fecha de presentación, fecha de concesión, fecha de vencimiento y área de la nanomedicina a la que pertenece la patente.

**Tabla 6**. Filtros aplicados en el SIGA para la búsqueda de patentes.

Filtro	Parámetros seleccionados	
Tipo de búsqueda	Búsqueda especializada	
Área	Patentes	
Presentación de los resultados	a) Cronológicamente	
	b) Datos e imagen	
Figura jurídica	a) Patentes de invención	
	b) Patentes de modelo	

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> OpenRefine es un software de código abierto destinado a la limpieza y transformación de datos desordenados (*messy data*), es decir, datos que tienen inconsistencias o errores. Se utilizó la versión OpenRefine 3.5.2.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Biblioteca de los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos (*National Institutes of Health Library*).

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Bibliometrix es un software de código abierto, desarrollado en lenguaje R, que sirve para realizar análisis bibliométricos. Se utilizaron las siguientes versiones del software: R 4.2.1, RStudio Desktop 2022.07.0+548 y Bibliometrix 4.0.0.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> https://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/principal.jsf. Fecha de consulta: 7 de enero de 2022.

Filtro	Parámetros seleccionados
Nemónicos	Tipo de documento (TIDO): Patente
Términos de búsqueda	TIDO:Patente AND nano*
Fecha de puesta en circulación	>= 2000/01/01 AND <= 2021/12/31
Fecha del ejemplar	>= Enero 2000 AND <= Diciembre
	2021

Finalmente, se exploró el contenido de las patentes a través de un análisis informáticotextual de los títulos y resúmenes. Este análisis se ejecutó con el software Tidytext<sup>6</sup> y como resultado se localizaron los términos más frecuentes en las patentes, con lo cual fue posible esbozar un panorama del tipo de invenciones que se están patentando.

## 3.3 Identificación de grupos y proyectos de investigación

Se realizó una búsqueda de grupos, proyectos y líneas de investigación relacionados con nanomedicina en las instituciones educativas y centros de investigación del país; esto se logró mediante tres estrategias.

La primera estrategia consistió en una búsqueda de información en la base de datos del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), la cual se encuentra disponible en línea<sup>7</sup>. El PRODEP es un programa gubernamental encaminado a fortalecer las capacidades de investigación y docencia de profesores del nivel superior, y cuenta con una base de datos sobre las actividades de investigación que se realizan en distintas Instituciones de Educación Superior (IES), abarcando Universidades Públicas Estatales y Afines, Universidades Politécnicas, Universidades Tecnológicas, Institutos Tecnológicos Federales e Institutos Tecnológicos Descentralizados. En primer lugar, dentro de esta base de datos se buscaron todos los cuerpos académicos que trabajan con temas de nanotecnología, empleando los filtros que se muestrea en la Tabla 7; esta búsqueda arrojó un resultado de 195 cuerpos académicos. Posteriormente, se revisaron de manera manual las líneas de investigación de cada uno de estos cuerpos académicos para seleccionar únicamente aquellos relacionados con nanomedicina y cómo resultado se encontraron 47. La información de estos cuerpos académicos se registró en una tabla con los siguientes campos: institución, nombre

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Tidytext es un software desarrollado en lenguaje R destinado a la minería de textos. Se utilizaron las siguientes versiones del software: R 4.1.2, RStudio Desktop 2021.09.2 y Tidytext 0.3.2.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> https://promep.sep.gob.mx/ca1/. Fecha de consulta: 29 de diciembre de 2021.

del cuerpo académico, líneas de investigación, descripción, miembros del cuerpo académico y área de la nanomedicina.

**Tabla 7**. Filtros aplicados en la base de datos del PRODEP para la búsqueda de cuerpos académicos que trabajan con temas de nanotecnología.

academicos que tracajan con temas de manotecnorogia.			
Filtro	Parámetros seleccionados		
Búsqueda por subsistema	Todos		
Búsqueda por IES	Ninguna		
Búsqueda por área de conocimiento	Todas		
Búsqueda por grado de consolidación	Todos		
Búsqueda del cuerpo académico por palabra clave	nano%		
Ordenar listado por	Institución		

La segunda estrategia se enfocó en la búsqueda de información de las instituciones públicas que no forman parte del PRODEP; en este rubro se encuentran la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) y los Centros Públicos de Investigación CONACYT. Los sitios web de cada una de estas instituciones (Tabla 8) se consultaron para identificar proyectos y líneas de investigación relacionados con nanomedicina<sup>8</sup>. Tanto la UNAM como el IPN tienen un sitio web de datos abiertos donde se concentra toda la información de sus proyectos de investigación de todas sus Facultades, Escuelas e Institutos. En lo que respecta al CINVESTAV y centros CONACYT, la información está dispersa y fue necesario consultar cada uno de los sitios web de los departamentos y centros que conforman dichas instituciones<sup>9</sup>.

Tabla 8. Sitios web consultados de IES federales y centros de públicos de investigación.

Institución	Sitio web	Descripción	
UNAM	https://datosabiertos.unam.mx/	Datos abiertos de la UNAM	
IPN	https://www.ipn.mx/datosabiertos/conjunto-datos/eje-estrategico-3.html	Datos abiertos del IPN	
	https://www.cinvestav.mx/Investigación	Líneas de investigación del CINVESTAV	
	https://www.cinvestav.mx/Departamentos	Departamentos del CINVESTAV	
	https://www.cell.cinvestav.mx/	Biología Celular	
CINVESTAV	https://biomol.cinvestav.mx/	Biomedicina Molecular	
	https://biochem.cinvestav.mx/	Bioquímica	
	https://farmacologia.cinvestav.mx/	Farmacología	
	https://www.fisio.cinvestav.mx/	Fisiología, Biofísica y Neurociencias	

<sup>8</sup> Los sitios web de la Tabla 8 se consultaron en enero de 2022.

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Solo se tomaron en cuenta departamentos y centros relacionados con las áreas de ingeniería, tecnología, ciencias exactas y naturales.

Institución	Sitio web	Descripción	
	http://www2.fisio.cinvestav.mx/		
	https://genetica.cinvestav.mx/	Genética y Biología Molecular	
	https://infectomica.cinvestav.mx/	Infectómica y Patogénesis Molecular	
	https://toxicologia.cinvestav.mx/	Toxicología	
	https://www.fis.cinvestav.mx/	Física	
	https://www.math.cinvestav.mx/	Matemáticas	
	https://quimica.cinvestav.mx/es-mx/	Química	
	https://biotecnologia.cinvestav.mx/	Biotecnología y Bioingeniería	
	https://www.cs.cinvestav.mx/	Computación (Zacatenco)	
	https://www.ctrl.cinvestav.mx/	Control Automático (Zacatenco)	
	https://ie.cinvestav.mx/	Ingeniería Eléctrica	
	https://www.gdl.cinvestav.mx/computacion/	Computación (Guadalajara)	
	https://www.gdl.cinvestav.mx/control/	Control Automático (Guadalajara)	
	https://www.gdl.cinvestav.mx/diseno/	Diseño Electrónico	
	https://www.gdl.cinvestav.mx/potencia/	Sistemas Eléctricos de Potencia	
	https://www.gdl.cinvestav.mx/telecom/	Telecomunicaciones	
	https://ira.cinvestav.mx/ingenieriagenetica/	Biotecnología y Bioquímica	
	https://ira.cinvestav.mx/ingenieriagenetica/	Ingeniería Genética	
	https://www.mda.cinvestav.mx/	Física Aplicada	
	www.monterrey.cinvestav.mx	Ingeniería y Física Biomédicas	
	http://qro.cinvestav.mx/	Materiales	
	https://saltillo.cinvestav.mx/		
	https://cinvestav-ceramica.wixsite.com/	Ingeniería Metalúrgica y Cerámica	
	https://farmacobiologia.cinvestav.mx/	Farmacobiología	
	https://www.tamps.cinvestav.mx/	Ciencias en Ingeniería y Tecnologías Computacionales	
	https://nano.cinvestav.mx/	Nanociencias y Nanotecnología	
	https://centrosconacyt.mx/	Sistema de Centros Públicos de	
	https://www.comimsa.com.mx/portal/	Investigación CONACYT  Corporación Mexicana de Investigación	
	https://www.ciqa.mx/	en Materiales (COMIMSA)  Centro de Investigación en Química  Aplicada (CIQA)	
	https://www.cideteq.mx/	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ)	
Centros CONACYT	https://www.cidesi.com/	Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)	
	https://www.ciateq.mx/	Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ)	
	https://ciatej.mx/	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ)	
	https://www.ciatec.mx/	Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEQ)	
	https://ipicyt.edu.mx/	Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT)	

Institución	Sitio web	Descripción
	https://www.inaoep.mx/	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)
	https://www.cio.mx/	Centro de Investigaciones en Óptica (CIO)
	https://cimav.edu.mx/	Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV)
	https://www.cicy.mx/	Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY)
	https://www.cicese.edu.mx/	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)
	https://www.cibnor.gob.mx/	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR)

La tercera estrategia se enfocó en la búsqueda de información sobre las IES privadas. Primero se localizaron las IES privadas que ofertan programas educativos de nanotecnología. Para ello se consultó el padrón de programas acreditados del Consejo para la Acreditación de la Educación Superior (COPAES)<sup>10</sup> aplicando los filtros de búsqueda que se muestran en la Tabla 9. Como resultado se encontraron tres IES privadas que tienen programas de nanotecnología: Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Finalmente, se rastrearon los proyectos de investigación nanomédica en los sitios web de cada una de estas instituciones (Tabla 10).

**Tabla 9**. Filtros aplicados en el padrón del COPAES para la búsqueda de programas educativos de nanotecnología en IES privadas.

Filtro	Parámetros seleccionados
Estado de la República	Todos
Subsistema	Todos
Tipo de institución	Particular
Grado académico	Todos
Estatus	Todos
Organismo acreditador	Todos
Tipo de acreditación	Todos
Institución educativa	Todos
Programa académico	nano

**Tabla 10**. Sitios web consultados de las IES privadas<sup>11</sup>

Tubia 10. Billos wes consultados de las ILB pilvadas :		
Institución	Sitio web	
UDLAP	https://www.udlap.mx/investigacion/proyectos.aspx	
ITESO	https://investigacion.iteso.mx/	

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> https://www.copaes.org/consulta.php. Fecha de consulta: 1 de julio de 2022.

28

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Estos sitios web se consultaron en julio de 2022.

Institución	Sitio web	
ITESM	https://research.tec.mx/vivo-tec/projects	

## 3.4 Identificación de empresas y productos

Se llevó a cabo una búsqueda de empresas y productos nanomédicos en México a partir de tres fuentes de información:

- 1) Nanotechnology Products Database<sup>12</sup>. Base de datos sobre productos y empresas nanotecnológicas a nivel internacional, con cobertura en 64 países incluido México.
- 2) Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS). Se consultó el registro de empresas nano en México<sup>13</sup> y el documento Nanotecnologías en medicamentos y productos de cuidado personal en México (Arteaga Figueroa, 2022).
- 3) Información aportada por expertos en nanomedicina. Se entrevistó a investigadores e inventores del área y se les preguntó sobre empresas y productos nanomédicos que ellos conocieran. La metodología de estas entrevistas se detalla en la sección 3.6.

## 3.5 Análisis de las enfermedades reportadas en artículos y patentes

Una manera de analizar la vinculación que existe entre las agendas de I+D y las necesidades prioritarias de salud, consiste en identificar las enfermedades que están siendo investigadas en las publicaciones científicas, y después contrastar esta información con las enfermedades que causan el mayor número de muertes en una determinada población (Woodson, 2012).

En esta etapa, primero se identificaron las enfermedades abordadas en los artículos y patentes mediante la revisión manual de sus títulos y resúmenes. Posteriormente se consultó el sitio web del Sistema de Información de la Secretaría de Salud<sup>14</sup> para identificar las enfermedades que provocan el mayor número de muertes en el país. En dicho sitio web se obtuvieron los datos de las principales causas de defunción en México durante el periodo 2000-2020<sup>15</sup>, pero se omitieron las causas de muerte no relacionadas con enfermedades tales como accidentes, homicidios y suicidios.

<sup>12</sup> https://product.statnano.com/

<sup>13</sup> https://relans.org/empresas-nano-en-mexico/

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> http://sinaiscap.salud.gob.mx:8080/DGIS/. Fecha de consulta: 2 de mayo de 2022.

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> A la fecha de consulta del sitio web (mayo de 2022), aún no había información disponible para el año 2021.

La Secretaría de Salud organiza la información de defunciones en México de acuerdo con los criterios de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10)<sup>16</sup> y la Lista Mexicana para la Selección de las Principales Causas de Muerte<sup>17</sup>. Estos mismos criterios se utilizaron para clasificar las enfermedades reportadas en los artículos y patentes.

Finalmente, la información de enfermedades en artículos y patentes se confrontó con los datos de las principales causas de muerte en México.

### 3.6 Entrevistas

Se realizaron entrevistas a expertos en nanomedicina para indagar sobre los desafíos que enfrenta la I+D en cuanto a financiamiento, patentamiento y transferencia tecnológica, así como para conocer el punto de vista de los entrevistados sobre el desarrollo de esta disciplina en México.

Las entrevistas son instrumentos ampliamente utilizados en la investigación cualitativa y las hay de distintos tipos según su grado de estructuración o planeación: entrevistas estructuradas, no estructuradas y semiestructuradas. En la Tabla 11 se resumen las principales características, ventajas y desventajas de cada tipo de entrevista. En la presente investigación se optó por las entrevistas semiestructuradas debido a sus ventajas: por un lado, se puede utilizar un guion de preguntas que permite orientar fácilmente la entrevista, y por otro lado, se tiene cierta flexibilidad para adaptar las preguntas a las circunstancias y al entrevistado.

**Tabla 11**. Características de los distintos tipos de entrevistas.

	Entrevista estructurada	Entrevista no estructurada	Entrevista semiestructurada
Características	Sigue un guion prestablecido, con preguntas que suelen ser cerradas y que no dan margen al entrevistado para contestar con amplitud.	Es mucho más informal y espontánea. No está sujeta de forma rigurosa a un guion.	Se basa en un guion con preguntas planeadas, pero estas pueden ajustarse durante la entrevista.
Ventajas	Objetividad y fácil procesamiento de los datos.	La entrevista puede adaptarse a los entrevistados y a las circunstancias.	Tiene un grado de flexibilidad aceptable y al mismo tiempo ofrece suficiente uniformidad en

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> https://ais.paho.org/classifications/chapters/pdf/volume1.pdf

<sup>17</sup> http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2019/03/1.-Pob\_Principales-Causas-de-Mortalidad.pdf

	Entrevista estructurada	Entrevista no estructurada	Entrevista semiestructurada
			los datos para su posterior análisis.
Desventajas	Falta de flexibilidad ante los entrevistados y menor profundidad de análisis.	Procesamiento más difícil de los datos y posible existencia de lagunas de información.	

Fuente: Elaboración propia con información de Díaz-Bravo et al. (2013).

Las personas a ser entrevistadas se eligieron a través de un muestreo intencional, técnica no probabilística en la que el investigador selecciona a los participantes de acuerdo con su propio criterio (White et al., 2018). En este tipo de muestreo, el investigador se focaliza en elegir a las personas que tengan el estatus, el conocimiento o la experiencia necesarios para poder aportar la información que se está buscando (Whitehead & Whitehead, 2016).

Se eligieron a 57 expertos en nanomedicina, abarcando investigadores, inventores, funcionarios del sector salud y representantes del sector empresarial. A todos ellos se les envío una invitación por correo electrónico para ser entrevistados. Las personas que aceptaron participar firmaron una carta de consentimiento informado en la que se explicaron los lineamientos y condiciones a seguir en la entrevista (véase el Anexo 1).

Antes de llevar a cabo las entrevistas, se elaboró un guion con preguntas mayoritariamente abiertas que cubrieron los siguientes rubros: a) información general del entrevistado, b) investigación y financiamiento, c) patentamiento y transferencia tecnológica, d) beneficio social de la I+D, e) riesgos de los nanomateriales en la salud, f) emprendimiento en el sector nanomédico y g) desafíos de la nanomedicina en México y perspectivas a futuro. Este guion se muestra en el Anexo 2.

La mayoría de las entrevistas se realizó de manera virtual a través de Zoom, un software de videoconferencias online que ha mostrado su utilidad en la recolección de datos para la investigación cualitativa (Oliffe et al., 2021). La elección de esta modalidad obedeció a las condiciones de distanciamiento impuestas por la pandemia de COVID-19, así como a la lejanía geográfica de algunos de los entrevistados.

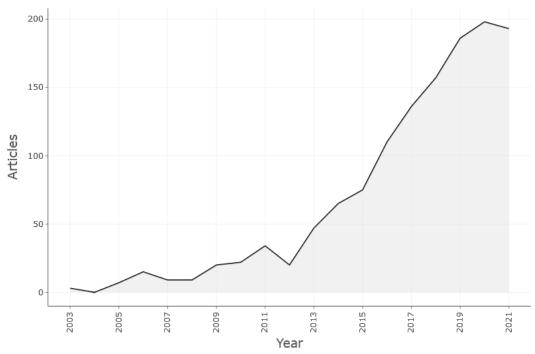
Las entrevistas fueron grabadas y posteriormente transcritas para su análisis. Las transcripciones se realizaron con el software ATLAS.ti 9.1.3 siguiendo las recomendaciones de sus desarrolladores (ATLAS.ti - Qualitative Data Analysis, 2021).

Finalmente, el texto de las transcripciones se revisó minuciosamente para identificar la información de interés.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Producción científica

El estudio bibliométrico reveló que en el periodo 2000-2021 se publicaron 1306 artículos sobre nanomedicina pertenecientes a autores mexicanos. En la Figura 3 se muestra la producción de artículos por año. En general, la publicación de artículos ha tenido una tendencia ascendente, pero en 2021 se observa un ligero declive, posiblemente debido a los efectos adversos que tuvo la pandemia de COVID-19 en las actividades de investigación.



**Figura 3**. Publicación de artículos por año a lo largo del periodo 2000-2021.

En la Tabla 12 se muestra la distribución de estos artículos por área. Se aprecia que la sumatoria de los artículos por área (1668) es mayor que el número de artículos que realmente se encontraron (1306); esta aparente discrepancia se debe a que existen artículos que pertenecen a dos o más áreas, y por lo tanto, se contabilizaron más de una vez. El porcentaje de artículos en cada área se calculó a partir de la sumatoria (1668). Se observa que el área de medicamentos y sistemas de liberación de agentes terapéuticos concentra casi la mitad de las publicaciones. Esto también ocurre en otros estudios bibliométricos sobre nanomedicina a nivel internacional en los que sobresale el tema de liberación de fármacos (*drug delivery*) (Dündar et al., 2020; Invernizzi et al., 2015). La abundancia de artículos en esta área quizá

se deba a que la nanomedicina desde sus inicios se centró principalmente en el desarrollo de medicamentos y sistemas de liberación de fármacos, y por lo tanto, dicha área ha tenido más tiempo para desarrollarse.

**Tabla 12**. Distribución de los artículos por área

1 thou 12. I is this thought the first think of the think			
Área	Artículos	% de 1668	
Medicamentos y sistemas de liberación de agentes terapéuticos	774	46.4%	
Nanomateriales para aplicaciones médicas	272	16.3%	
Terapia	217	13.0%	
Diagnóstico	120	7.2%	
Medicina regenerativa / ingeniería de tejidos	107	6.4%	
Dispositivos médicos	91	5.5%	
Vacunas	54	3.2%	
Otros / no específicos	33	2.0%	
Σ	1668	100.0%	

En la Figura 4 se muestra un conjunto de nubes de palabras que recogen los términos más frecuentes en los artículos en cada área de la nanomedicina. Estas nubes se construyeron a partir de las palabras clave (*keywords*) de los artículos, y en ellas el tamaño de las palabras es proporcional a su frecuencia.

La nube de medicamentos y sistemas de liberación de agentes terapéuticos (Figura 4-A) revela que la liberación de fármacos (*drug delivery*) es el tema que más se ha estudiado en esta área. En esta nube también se distingue el término "*chitosan*" (quitosano), un biopolímero a partir del cual se pueden producir nanomateriales con aplicaciones en la liberación de fármacos (Li et al., 2018).

La nube de terapia (Figura 4-B) muestra que en dicho rubro se han publicado artículos sobre terapia fototérmica (*photothermal therapy*), terapia génica (*gene therapy*) e hipertermia (*hyperthermia*); además se observa que estas terapias se han centrado en el tratamiento del cáncer, particularmente en cáncer de mama (*breast cancer*), cáncer de colon (*colon cancer*) y cáncer cervical (*cervical cancer*).

La Figura 4-C corresponde al área de diagnóstico y en ella se aprecia que existen publicaciones sobre nanopartículas de oro (*gold nanoparticles*) y biosensores aplicados a la detección de enfermedades tales como cáncer de mama (*breast cancer*) y diabetes.

En la nube de dispositivos médicos (Figura 4-D) sobresale el término "silver nanoparticles" (nanopartículas de plata), material que posee propiedades bactericidas y

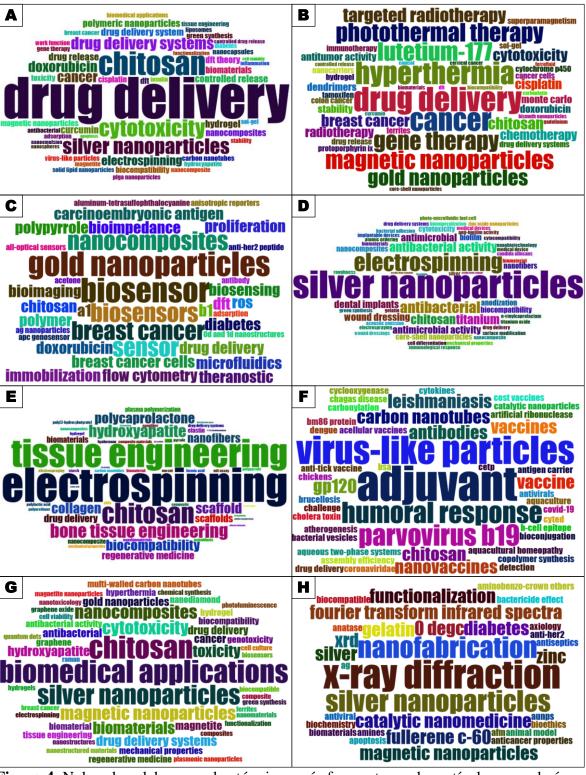
antivirales que lo han hecho idóneo para la manufactura de diversos dispositivos médicos: vendajes para cicatrización de heridas, mascarillas quirúrgicas, catéteres para anestesia, etc. (Pallotta et al., 2019).

En el área de medicina regenerativa / ingeniería de tejidos (Figura 4-E) destaca el término "electrospinning" o electrohilado, una técnica para la obtención de nanofibras que se emplean en la fabricación de andamios (scaffolds) para ingeniería de tejidos (Bambole & Yakhmi, 2016).

En la nube del área de vacunas (Figura 4-F) los términos más notorios son "adjuvant" (adyuvante) y "virus-like particles" (pseudo-partículas virales). Un adyuvante es una sustancia que modula la respuesta inmune a una vacuna, y actualmente varios tipos de adyuvantes se diseñan a nanoescala; los nanomateriales, en comparación con los materiales tradicionales, pueden proteger a los antígenos del entorno biológico circundante e incrementar su vida media, lo que potencia la respuesta inmune (Sun & Xia, 2016). Por otra parte, las pseudo-partículas virales son estructuras nanométricas muy semejantes a los virus pero que no contienen material genético viral, las cuales pueden emplearse en vacunas como vehículos para la liberación de antígenos (Karandikar et al., 2017).

La Figura 4-G alude a los nanomateriales con aplicaciones médicas no específicas. Debido a esta falta de especificidad, en esta nube se repiten varios de los términos que ya se han descrito en otras áreas.

Finalmente, la nube de la Figura 4-H corresponde a los artículos que no pudieron ser clasificados en las áreas anteriores. En esta nube se pueden ver términos como "X-ray diffraction" y "Fourier transform infrared spectroscopy" que se refieren a técnicas que se utilizan en la caracterización de nanomateriales.



**Figura 4**. Nubes de palabras con los términos más frecuentes en los artículos en cada área: a) medicamentos y sistemas de liberación de agentes terapéuticos, b) terapia, c) diagnóstico, d) dispositivos médicos, e) medicina regenerativa / ingeniería de tejidos, f) vacunas, g) nanomateriales para aplicaciones médicas, y h) otros / no específicos.

En la Figura 5 se muestran los 20 investigadores con la mayor cantidad de artículos publicados sobre nanomedicina. En primer lugar se encuentra la Dra. Tessy María López Goerne de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM); le siguen el Dr. David Quintanar Guerrero de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Dra. Guillermina Ferro Flores del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

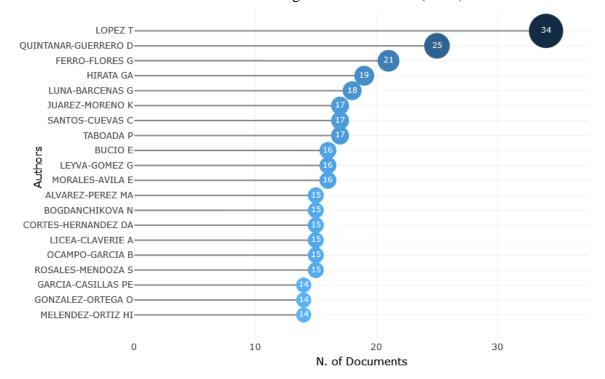


Figura 5. Autores con mayor número de artículos.

En la Figura 6 se muestran las 20 instituciones con mayor producción científica sobre nanomedicina en México. La UNAM se posiciona en el primer lugar con 656 artículos; le siguen el Instituto Politécnico Nacional (IPN) con 211 y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) con 207. Además de universidades, en este listado también aparecen algunos centros de investigación como el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) y el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). También se observan dos instituciones extranjeras: la Universidad de Santiago de Compostela y la Universidad de Barcelona; esto se debe a que algunos artículos se publicaron en coautoría con investigadores extranjeros de dichas instituciones. Asimismo, hay una institución del sector salud: el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía Manuel Velasco Suárez (INNN-MVS).

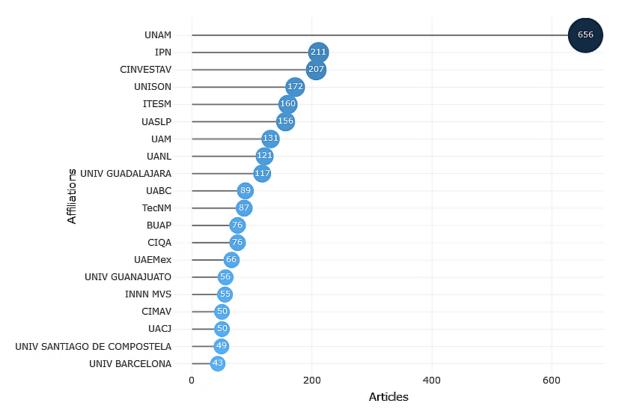


Figura 6. Instituciones con el mayor número de artículos.

La Figura 7 es una red de las colaboraciones institucionales construida a partir de las coautorías de artículos; las instituciones están representadas por los nodos y las colaboraciones por líneas (el grosor de las líneas es proporcional al número de colaboraciones). Se observa que las colaboraciones más fuertes son las que tiene la UNAM con el IPN, CINVESTAV, UAM y BUAP. También se aprecia que hay una colaboración muy fuerte entre la UAM y el INNN-MVS, lo cual es interesante porque se trata del vínculo más robusto entre una universidad y una institución del sector salud. Al indagar sobre esta colaboración en particular, se encontró que ambas instituciones han trabajado en conjunto para evaluar las aplicaciones clínicas de un cicatrizante para heridas de pie diabético, el cual fue desarrollado por investigadores del Laboratorio de Nanomedicina y Nanotecnología de la UAM-Xochimilco (Sampedro-Hernández et al., 2020).

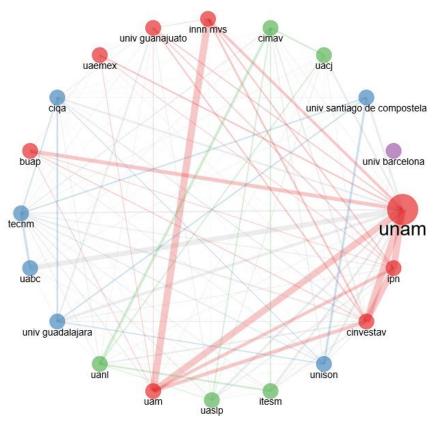


Figura 7. Colaboraciones institucionales en la investigación sobre nanomedicina en México.

En cuanto a colaboraciones internacionales, 578 artículos (el 44 % del total) se publicaron en coautoría con investigadores de otros países. En el mapa de la Figura 8 se representan estas colaboraciones a través de líneas cuyo grosor es proporcional a la cantidad de coautorías. Se observa que las colaboraciones más fuertes ocurren con Estados Unidos.



Figura 8. Colaboraciones internacionales de México en el campo de la nanomedicina.

## **4.2 Patentes**

El análisis de patentes reveló que en el periodo 2000-2021 se otorgaron en México 307 patentes sobre nanomedicina. La Figura 9 muestra las patentes otorgadas por año a lo largo de todo el periodo. De 2000 a 2008 el otorgamiento de patentes fue mínimo, pero a partir de 2009 el patentamiento comenzó a incrementarse y se ha mantenido en ascenso hasta 2021.

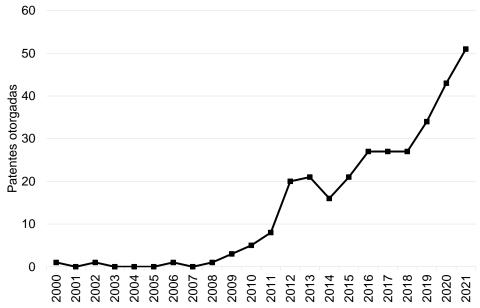


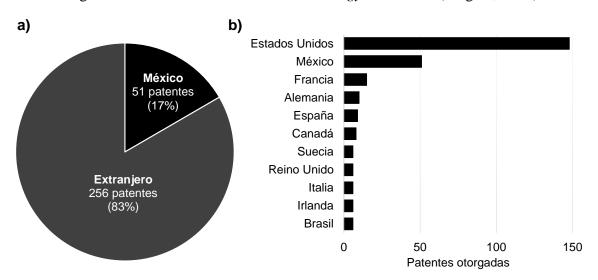
Figura 9. Patentes otorgadas por año en el campo de la nanomedicina en México.

En la Tabla 13 se muestran las patentes otorgadas por área. Al igual que en el análisis bibliométrico, existe una diferencia entre la sumatoria de patentes por área (378) y la cantidad de patentes localizadas (307); esto se debe a que algunas patentes pertenecen a dos o más áreas simultáneamente y en consecuencia se contaron más de una vez. El porcentaje de patentes en cada área se calculó con base al valor de la sumatoria (378). Llama la atención que casi el 70% de las patentes pertenecen al área de medicamentos y sistemas de liberación de agentes terapéuticos. Esto podría tener relación con las grandes inversiones que están haciendo varias empresas farmacéuticas transnacionales en el sector nanomédico (Kad et al., 2022), pues dichas empresas se dedican principalmente al desarrollo y comercialización de medicamentos. De hecho, como se verá en párrafos posteriores, los propietarios con el mayor número de patentes otorgadas en México son precisamente compañías farmacéuticas transnacionales.

Tabla 13. Patentes otorgadas en cada área

Tubia 10.1 atomos oto18adas en cada area							
Área de la nanomedicina	No. de patentes	% de 378					
Medicamentos y sistemas de liberación de agentes terapéuticos	260	69%					
Terapia	31	8%					
Diagnóstico	27	7%					
Dispositivos médicos	23	6%					
Nanomateriales para aplicaciones médicas	18	5%					
Vacunas	12	3%					
Medicina regenerativa / ingeniería de tejidos	7	2%					
Σ	378						

Del total de patentes otorgadas en México sobre nanomedicina, el 83% pertenece a propietarios extranjeros y el 17 % a mexicanos (véase la Figura 10). Al desglosar las patentes por nacionalidad, se aprecia que Estados Unidos es el país con más patentes con 148, casi la mitad de todas las patentes. El liderazgo de Estados Unidos en el patentamiento podría deberse a que este país fue pionero a nivel internacional en impulsar el desarrollo de las nanotecnologías a través de la *National Nanotechnology Initiative* (Sargent, 2014).



**Figura 10**. a) Patentes de propietarios mexicanos y extranjeros. b) patentes otorgadas por país.

En la Tabla 14 se muestran los propietarios con el mayor número de patentes otorgadas. Se observa que la mayoría de ellos son de origen estadounidense, y esto concuerda con la información presentada anteriormente respecto al liderazgo de Estados Unidos en el patentamiento. Sobresalen dos empresas farmacéuticas transnacionales: Abraxis BioScience

-

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> Iniciativa Nacional de Nanotecnología de Estados Unidos.

y Selecta Biosciences, con 27 y 17 patentes respectivamente. Otras empresas farmacéuticas que figuran en este listado son Nanobiotix y Revalesio Corporation, Y en cuanto a propietarios mexicanos destacan dos universidades (UANL y UNAM) y dos centros de investigación (CIQA y CINVESTAV).

**Tabla 14**. Propietarios con el mayor número de patentes otorgadas.

Titular	País de origen	No. de patentes
Abraxis BioScience	Estados Unidos	27
Selecta Biosciences	Estados Unidos	17
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)	México	9
The Brigham and Women's Hospital, Inc.	Estados Unidos	7
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	México	7
Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)	México	6
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV)	México	6
Kimberly-Clark Worldwide Inc.	Estados Unidos	6
Nanobiotix	Francia	6
Massachusetts Institute of Technology	Estados Unidos	5
President and Fellows of Harvard College	Estados Unidos	5
Revalesio Corporation	Estados Unidos	5

En la Tabla 15 se muestran los propietarios de las 51 las patentes que han sido otorgadas a mexicanos. Algunas de estas patentes están en copropiedad<sup>19</sup>, y por lo tanto, al desglosarlas por propietario individual, la sumatoria (54) es mayor al número verdadero de patentes (51). Los propietarios mostrados en la tabla están clasificados en tres categorías: 1) IES y centros de investigación, 2) empresas y 3) inventores independientes. Se observa que las IES y centros de investigación producen la mayor parte de las patentes, mientras que las empresas e inventores independientes tienen una contribución escasa en el patentamiento. Esto parece indicar que los resultados de la I+D en México aún están lejos de materializarse en productos nanomédicos que lleguen de manera masiva a los pacientes, pues para eso se requieren empresas que desarrollen, manufacturen y comercialicen estos productos, y en este caso, hay pocas empresas mexicanas involucradas en nanomedicina, al menos desde el punto de vista del patentamiento.

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> Un ejemplo de patente en copropiedad es la MX 373111 "Nanopartículas semiconductoras cubiertas con maltodextrina", la cual está registrada a nombre del CINVESTAV y de la UAEM.

**Tabla 15**. Propietarios mexicanos de patentes

	Propietarios	Patentes
Instituciones de	Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)	9
Educación	Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	7
Superior (IES) y Centros de	Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)	6
Investigación	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV)	6
mvestigacion	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)	4
	Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)	3
	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)	2
	Universidad Autónoma de Baja California (UABC)	2
	Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)	1
	Universidad de Guadalajara (UdeG)	1
	Universidad de Sonora (UNISON)	1
	Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas	
	(CIATEC)	1
	Instituto Politécnico Nacional (IPN)	1
Empresas	AG Mexicana de Nanotecnología, S.A.P.I. de C.V.	1
	Investigación Aplicada, S.A. de C.V.	1
	LKPMN, S.A. de C.V.	1
	Productos Maver, S.A. de C.V.	1
Inventores	Gabriel C. Damián	1
independientes	Enrique Carlos González Monterrubio	1
	Horacio Astudillo de la Vega	1
	Lizette Alejandra Minjares Espinoza	1
	Sabás Sánchez Tellechea	1
	José Zavala	1
	$\sum$	54

Otra cosa interesante que se observa en la Tabla 15 es que la UANL es la institución mexicana con más patentes, a pesar de tener pocos artículos publicados (véase la Figura 6). El liderazgo de la UANL en el patentamiento se debe a los esfuerzos institucionales que ha hecho esta universidad para fomentar y promover el uso de la propiedad intelectual entre sus investigadores y estudiantes. En este sentido, la UANL cuenta con un Centro de Incubación de Empresas y Transferencia de Tecnología (CIETT) que asesora y capacita a la comunidad universitaria, no solo en patentamiento, sino también en el registro de marcas, modelos de utilidad y diseños industriales (UANL, s. f.). Además, año con año, esta institución entrega el *Premio UANL a la invención* para galardonar a los profesores y estudiantes que hayan obtenido por lo menos un título de propiedad industrial otorgado por el IMPI (Rodríguez Cañedo, 2020). Como resultado de estas acciones, la UANL ha sobresalido en el

patentamiento a nivel nacional, y en 2020 ocupó el primer lugar de las universidades públicas con más patentes otorgadas por el IMPI (UANL, 2022), superando incluso a instituciones con mayor infraestructura y presupuesto como la UNAM y el IPN (Rivera, 2021). Por otra parte, en Nuevo León existe un clúster de nanotecnología en el que se vinculan universidades, empresas e instituciones de gobierno para impulsar el desarrollo de esta disciplina (Záyago Lau, 2011), y dado que la UANL forma parte de dicho clúster, es probable que bajo su influencia la UANL también esté fomentando el patentamiento, particularmente en el sector nano. Todo lo anterior explica el liderazgo de la UANL en cuanto a patentes sobre nanomedicina.

**Tabla 16**. Términos más frecuentes en las patentes.

Medicamentos y liberación de agentes terapéuticos	Terapia	Diagnóstico	Nanomateriales para aplicaciones médicas	Dispositivos médicos	Medicina regenerativa / ingeniería de tejidos	Vacunas
nanoportadores	cáncer (24)	agentes (16)	plata (29)	quirúrgico	heridas (5)	antígenos (13)
(71)	cancerosas (14)	contraste (14)	diálisis (7)	(20)	cicatrización	nanoportadores
administración	células (14)	agente (13)	absorbentes (6)	tejido (13)	(4)	(11)
(69)	taxano (13)	gel (9)	antimicrobianos	microagujas	hidroxiapatita	agente (8)
cáncer (58)	tumores (9)	conjugados	(6)	(11)	(4)	antígeno (8)
liberación (39)	radiación (7)	(6)	dendritas (6)	plata (9)	piel (4)	inmune (5)
suministro (39)	liposoma (6)	cáncer (5)	antibacteriana	ocular (8)	hueso (3)	inmunogénico
administrar (38)	génica (5)	sensor (5)	(5)	diálisis (7)	injerto (3)	(4)
lípidos (38)	quimioterapia (5)	colesterol (4)	bacterias (5)	nanotopografía	quitosano (3)	inulina (4)
taxano (30)	inmunoterapia (4)	hidroxiapatita	gel (4)	(7)	tejido (3)	nanovehículos
piel (19)	magnéticos (4)	(4)	hongos (4)	absorbentes	tisular (3)	(4)
rapamicina (19)	quimioterapéuticos	imágenes (4)	antibacterial (3)	(6)	biodegradables	inmunitaria (3)
biocompatible	(4)	bioactivos (3)	biomateriales	bioabsorbible	(2)	cáncer (2)
(18)	radioterapia (4)	blanco (3)	(3)	(6)	herida (2)	nanoportador
conjugados (18)	radiofármaco (3)	colestosoma	esclerosis (3)	gel (6)	mesenquimales	(2)
tejido (17)	superparamagnéticas	(3)	herida (3)	tratamiento (6)	(2)	
tópica (16)	(3)	imagenología	heridas (3)	biodegradable	ósea (2)	
nanodispersión		(3)	hueso (3)	(5)	óseo (2)	
(14)		radiofármaco		ojo (5)		
		(3)		antimicrobiano		
				(4)		
				heridas (4)		

En la Tabla 16 se muestran los resultados del análisis informático-textual que se realizó con el software R-Tidytext para identificar los términos más frecuentes en los títulos y resúmenes de las patentes. Los términos que aparecen en la tabla van acompañados de un número entre paréntesis que indica el número de veces que aparece dicho término en todo el conjunto de textos analizados. Estos resultados permiten trazar un panorama del tipo de invenciones que se están patentando. En el área de medicamentos y sistemas de liberación de agentes terapéuticos predomina el desarrollo de nanoportadores (nanocarriers) para la liberación de fármacos; en el área de terapia hay un enfoque hacia los tratamientos anticáncer;

en el área de diagnóstico prevalecen las patentes sobre agentes de contraste; en el área de nanomateriales los desarrollos se han centrado en las aplicaciones de las nanopartículas de plata; en el área de dispositivos médicos hay invenciones relacionadas con equipo quirúrgico; en el área de medicina regenerativa / ingeniería de tejidos hay patentes sobre regeneración tisular en heridas; y finalmente, en vacunas destaca el desarrollo de nanoportadores para antígenos.

# 4.3 Grupos y proyectos de investigación

La información de los grupos y proyectos de investigación sobre nanomedicina que existen en México se organizó en tres grupos: 1) cuerpos académicos del PRODEP, 2) proyectos de instituciones federales y privadas, y 3) líneas de investigación de centros públicos de investigación.

Respecto al PRODEP se localizaron 47 cuerpos académicos con 52 líneas de investigación relacionadas con nanomedicina, pertenecientes a 25 IES. En la Tabla 17 se muestran estas IES con el número de cuerpos académicos que tiene cada una, así como las áreas de la nanomedicina que cubren sus líneas de investigación. Se puede notar que la UANL y la UdeG lideran este listado con 6 cuerpos académicos cada una, y le siguen la UNISON (5), UABC (3), UASLP (3), BUAP (2), UAdeC (2), UAEM (2) y UAM (2). Las instituciones anteriormente mencionadas cubren varias áreas de la nanomedicina tales como medicamentos y liberación de fármacos, diagnóstico y dispositivos médicos. Por otra parte, el resto de las instituciones de la Tabla 17, que en su mayoría son Institutos Tecnológicos y Universidades Politécnicas, solamente tienen un cuerpo académico y se centran casi en su totalidad en el desarrollo de nanomateriales para aplicaciones médicas. Como se mencionó en la sección 3.1 de esta tesis, en la categoría de "nanomateriales para aplicaciones médicas" se clasificó todo lo concerniente a síntesis de nanomateriales de los que se declara que podrían tener una aplicación en el sector salud, pero sin especificar cuál. El enfoque de los Institutos Tecnológicos y Universidades Politécnicas hacia este tipo de investigación podría deberse a que, al ser instituciones pequeñas que reciben pocos recursos económicos, se limitan a sintetizar nanomateriales, pero no cuentan con los medios ni con la infraestructura necesarios para llevarlos a una aplicación concreta en medicina.

La descripción completa de los cuerpos académicos del PRODEP se presenta en el Anexo 3.

Tabla 17. IES con cuerpos académicos del PRODEP relacionado con nanomedicina.

<b>Tabla 17.</b> IES con cuerpos académicos d	CI I KODEI	,							
		Area de la nanomedicina							
Institución	No. de cuerpos académicos	Medicamentos y liberación de agentes terapéuticos	Terapia	Diagnóstico	Nanomateriales para aplicaciones médicas	Dispositivos médicos	Medicina regenerativa / ingeniería de tejidos	Vacunas	Otros / no específicos
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)	6	<b>√</b>			>				<b>✓</b>
Universidad de Guadalajara (UdeG)	6	✓		✓	<b>&gt;</b>		✓		✓
Universidad de Sonora (UNISON)	5	✓		>	>	>			✓
Universidad Autónoma de Baja California (UABC)	3	>		>	>				
Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP)	3	<b>&gt;</b>			>				✓
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)	2	<b>&gt;</b>			<b>&gt;</b>				
Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC)	2				<b>\</b>				✓
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)	2	<b>&gt;</b>							✓
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)	2				>				<b>√</b>
Instituto Tecnológico de Celaya	1				<b>\</b>				
Instituto Tecnológico de Oaxaca	1			✓					
Instituto Tecnológico de Tijuana	1				<b>&gt;</b>				
Instituto Tecnológico de Villahermosa	1				<b>&gt;</b>				
Instituto Tecnológico de Zacatepec	1				>		✓		
Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán	1				<b>√</b>				
Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco	1	✓							
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)	1				✓				
Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ)	1				✓				
Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS)	1				✓				
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH)	1				<b>&gt;</b>				
Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex)	1								✓
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT)	1				>				
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)	1				<b>√</b>				
Universidad Politécnica de Pachuca	1				<b>√</b>				
Universidad Politécnica del Valle de México	1					✓			

Por otra parte, también se recabó información sobre los proyectos de investigación de las IES que no están en el PRODEP, es decir, instituciones federales y privadas. En la Tabla

18 se muestran estas instituciones con el número de proyectos que tienen cada una y las áreas de la nanomedicina que abordan. Sobresalen la UNAM y el IPN con 24 y 18 proyectos respectivamente. El resto de las instituciones de la tabla son universidades privadas, de las cuales destaca el ITESM con 5 proyectos.

En el Anexo 4 se muestra la información completa de los proyectos de IES federales y privadas.

**Tabla 18**. Proyectos de las IES federales y privadas que no están el PRODEP.

			Ár	ea do	e la na	nom	edicina		
Institución		Medicamentos y liberación de agentes terapéuticos	Terapia	Diagnóstico	Nanomateriales para aplicaciones médicas	Dispositivos médicos	Medicina regenerativa / ingeniería de tejidos	Vacunas	Otros / no específicos
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	24	✓		✓	>		<b>√</b>		<b>✓</b>
Instituto Politécnico Nacional (IPN)	18	<b>✓</b>	✓	✓	✓	✓	<b>✓</b>		<b>✓</b>
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM)	5	<b>√</b>			>	>			
Universidad de las Américas Puebla (UDLAP)	4		>		<b>\</b>				
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO)	1			✓					

En cuanto a los centros de investigación, los sitios web de estas instituciones no ofrecen información completa y actualizada sobre sus proyectos; sin embargo, se lograron identificar líneas y temas de investigación. En la Tabla 19 se muestran los centros de investigación que trabajan con temas de nanomedicina, así como las áreas en las que se especializan. En el caso particular del CINVESTAV, se aprecia que este centro cuenta con líneas de investigación afines a la nanomedicina en sus distintas unidades y departamentos. En el Anexo 5 de presenta a detalle la información recabada sobre los centros de investigación.

**Tabla 19**. Áreas de la nanomedicina que se investigan en los centros públicos de investigación.

					Área de la nanomedicina						
	Institución		Medicamentos y liberación de agentes terapéuticos	Terapia	Diagnóstico	Nanomateriales para aplicaciones médicas	Dispositivos médicos	Medicina regenerativa / ingeniería de tejidos	Vacunas	Otros / no específicos	
		Programas Multidisciplinarios - Nanociencias y Nanotecnología	<b>~</b>	<b>√</b>	<b>√</b>	<b>√</b>		<b>√</b>			
		Departamento de Farmacología	✓								
Control I I and a 'Co	Unidad Zacatenco	Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias	<b>√</b>								
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional		Departamento de Genética y Biología Molecular								✓	
(CINVESTAV)		Departamento de Toxicología								✓	
		Departamento de Física		<b>√</b>	<b>√</b>	<b>√</b>					
	Unidad Mérida	Departamento de Física Aplicada	✓			✓					
	Unidad Querétaro	Departamento de Materiales	<b>√</b>			<b>√</b>		<b>√</b>			
	Unidad Saltillo	Departamento de Ingeniería Cerámica				✓					
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ)						<b>√</b>					
Centro de Investigación e	n Materiales Avai	nzados (CIMAV)				<b>\</b>					
Centro de Investigación e	n Química Aplica	da (CIQA)	✓			✓	✓				
Centro de Investigaciones										✓	
Centro de Investigación ( Ensenada (CICESE)	Científica y de Edu	cación Superior de	✓								

# **4.4** Empresas y productos

Se identificaron cinco productos relacionados con nanomedicina que ya se encuentran en el mercado, los cuales se muestran en la Tabla 20. La mayoría de estos productos son de aplicación tópica y están dirigidos a la desinfección y tratamiento de heridas; además se encuentran en distintas presentaciones: gel (Tesskin), cremas (Éviter Crema y Nabicron Cream) y suspensiones (NAGSIL DERM). Dos de estos productos están enfocados directamente al tratamiento de heridas de pie diabético: NAGSIL DERM y Nabicron Cream.

Por otra parte, el producto Nbelyax® es un ingrediente activo con propiedades bactericidas y antivirales que se utiliza en la formulación de cremas y jabones antisépticos, así como en la fabricación de cubrebocas.

**Tabla 20**. Productos relacionados con la nanomedicina.

Producto	Descripción	Empresa
Tesskin (NanoGel)	Gel antiséptico basado en nanotecnología para el tratamiento de heridas infectadas y de difícil cicatrización.	LABNANOMED - Laboratorios de Nanomedicina
Éviter Crema Antiséptica	Crema para eliminar microorganismos patógenos en la piel para prevenir enfermedades e infecciones.	Éviter
Nbelyax®	Formulación bactericida basada en nanotecnología.	Éviter
NAGSIL DERM	Suspensión de nanopartículas de plata al 3% para el tratamiento de úlceras del pie diabético.	BIONAG
Nabicron Cream	Producto formulado con nanobiotecnología que ayuda a desinfectar y regenerar tejido en pie diabético, úlceras y heridas superficiales, crónicas e infectadas.	NABICRON

Las empresas que están vinculadas al sector nanomédico en México se presentan en la Tabla 21. En total se localizaron 13 empresas distribuidas en 8 entidades de la república. No todas estas empresas tienen productos de nanomedicina en el mercado. Por ejemplo, el consorcio Nanoparticle Therapy Institute actualmente está impulsando un tratamiento para la enfermedad de Parkinson<sup>20</sup>, pero este todavía no llega al mercado. Asimismo, hay empresas que han patentado invenciones relacionadas con nanomedicina (LKPMN, S.A. de C.V., AG Mexicana de Nanotecnología, S.A.P.I. de C.V., Productos Maver, S.A. de C.V. e Investigación Aplicada, S.A. de C.V.), pero en esta investigación no se encontró evidencia de que dichas patentes hayan dado lugar a productos que se estén comercializando.

**Tabla 21**. Empresas relacionadas con nanomedicina.

Empresa	Descripción	Ubicación
Nanoparticle Therapy Institute	Consorcio entre el CINVESTAV y Science Link SAPI de CV que busca impulsar un tratamiento a base de nanopartículas para la enfermedad de Parkinson.	Aguascalientes
BIONAG	Fabricación de antivirales, bactericidas y fungicidas a base de nanotecnología.	Baja California
LABNANOMED - Laboratorios de Nanomedicina (antes Nano Tutt S.A. de C.V.)	Investigación y desarrollo de innovaciones tecnológicas centradas en la nanotecnología y nanomedicina.	Ciudad de México

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> Sitio web de Nanoparticle Therapy Institute: https://nanoparticletherapyinstitute.org/en/nti-english/

49

-

Empresa	Descripción	Ubicación
Éviter	Fabricación de productos antimicrobianos a base de	Ciudad de
Evitei	nanobiotecnología.	México
Neolpharma	Aplicaciones de nanobiotecnología en tratamientos de	Ciudad de
Neoiphaima	cáncer de mama y para el sistema nervioso central.	México
Liomont	Nanoencapsulado y sistemas de liberación de fármacos.	Ciudad de México
LKPMN, S.A. de C.V.	Empresa propietaria de la patente MX 385180 que versa sobre una nanoemulsión para el tratamiento de infecciones gástricas por H. pylori.	Ciudad de México
AG Mexicana de Nanotecnología, S.A.P.I. de C.V.	Empresa propietaria de la patente MX 367741 que versa sobre el desarrollo de nanopartículas de plata con propiedades bactericidas, antifúngicas y antivirales, útiles en la disminución de infecciones nosocomiales.	Ciudad de México
Nanoingredientes Bioactivos S.A. de C.V.	Fabricación de sistemas bionanotecnológicos que pueden utilizarse en entrega de medicamentos por vía oral o tópica.	Coahuila
NABICRON	Fabricación de productos basados en nanomateriales y extractos vegetales.	Guanajuato
Productos Maver, S.A. de C.V.	Empresa propietaria de la patente MX 343496 que versa sobre una composición farmacéutica que comprende liposomas y nanosomas para tratar la inflamación y dolores agudos relacionados con osteoartritis y artritis reumatoide.	Jalisco
Investigación Aplicada, S.A. de C.V.	Empresa propietaria de la patente MX 382232 que versa sobre una vacuna con un adyuvante nanoparticulado con aplicaciones en medicina veterinaria.	Puebla
Rubio Pharma S.A. de C.V.	Fabricación de películas delgadas para la industria farmacéutica.	Sonora

# 4.5 Relación de la I+D con las necesidades prioritarias de salud en México

En la Tabla 22 se muestran las 20 enfermedades que han causado el mayor número de muertes en México durante el periodo 2000-2020. Las enfermedades del corazón se encuentran a la cabeza con el 22.8% de las defunciones y le siguen la diabetes con el 17.3% y los tumores malignos<sup>21</sup> con el 14.9%. En conjunto, estas tres enfermedades han causado el 55% de todos los fallecimientos. Llama la atención que el COVID-19, pese a ser una enfermedad de aparición reciente, se ubica dentro de las 10 primeras causas de muerte en todo el periodo. Cabe señalar que en 2020 el COVID-19 fue la segunda causa de muerte en México (INEGI, 2021).

\_

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> La categoría de "tumores malignos" incluye los distintos tipos de cáncer.

**Tabla 22**. Principales causas de defunción en México<sup>22</sup>

#	Principales causas de defunción	No. de defunciones (2000-2020)	% del total de defunciones (2000-2020)
1	Enfermedades del corazón	2,284,810	22.8%
2	Diabetes	1,728,364	17.3%
3	Tumores malignos	1,492,401	14.9%
4	Enfermedades del hígado	695,486	7.0%
5	Enfermedades cerebrovasculares	648,313	6.5%
6	Influenza y neumonía	391,739	3.9%
7	Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas	373,472	3.7%
8	Ciertas afecciones originadas en el período perinatal	307,701	3.1%
9	Insuficiencia renal	243,735	2.4%
10	COVID-19	199,419	2.0%
11	Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas	101 047	1.00/
		191,947	1.9% 1.7%
	Desnutrición y otras deficiencias nutricionales	168,614 121,033	1.7%
13	Bronquitis crónica, enfisema y asma Enfermedad por virus de la inmunodeficiencia	121,033	1.2%
14	humana	100,738	1.0%
15	Sepsis	82,336	0.8%
16	Enfermedades infecciosas intestinales	81,206	0.8%
17	Anemias	74,083	0.7%
18	Úlceras gástrica y duodenal	55,974	0.6%
19	Síndrome de dependencia del alcohol	55,122	0.6%
20	Tuberculosis <sup>23</sup>	48,636	0.5%
Las	Las demás enfermedades		6.6%
Tota	1	10,005,474	100.0%

Fuente: elaboración propia con datos del sitio web del Sistema de Información de la Secretaría de Salud<sup>24</sup>.

Las enfermedades que se abordan en los artículos científicos se presentan en la Tabla 23. De los 1306 artículos que se revisaron, poco más de la mitad (676) no menciona ninguna enfermedad; estos artículos versan principalmente sobre síntesis de nanopartículas con potenciales aplicaciones médicas, sin especificar ninguna aplicación en particular. En cuanto a los artículos que sí mencionan algún tipo de enfermedad, estos se enfocan principalmente en los tumores malignos, y en menor proporción en otros padecimientos tales como las

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> Se omitieron las causas de defunción no relacionadas con enfermedades tales como accidentes, homicidios

y suicidios.

23 En el rubro de "Tuberculosis" se agruparon las defunciones asociadas a tuberculosis pulmonar, tuberculosis

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> http://sinaiscap.salud.gob.mx:8080/DGIS/

infecciones bacterianas no especificadas, trastornos óseos, diabetes, heridas no especificadas y enfermedades bucales.

Tabla 23. Enfermedades identificadas en los artículos.

	Table 25. Emermedades identificadas en for	No. de	% del total
#	Enfermedades	artículos	
1	Tumores malignos	315	24.1%
2	Infección bacteriana no especificada	65	5.0%
3	Trastornos de la densidad y de la estructura óseas	38	2.9%
4	Diabetes	26	2.0%
5	Heridas no especificadas	26	2.0%
	Enfermedades de la cavidad bucal, de las glándulas		
6	salivales y de los maxilares	19	1.5%
7	Enfermedades del corazón	15	1.1%
8	Micosis	14	1.1%
9	Enfermedad de Parkinson	13	1.0%
10	Epilepsia	10	0.8%
11	Enfermedades infecciosas intestinales	8	0.6%
12	COVID-19	7	0.5%
13	Enfermedad por virus de la inmunodeficiencia humana	6	0.5%
14	Tuberculosis	6	0.5%
15	Enfermedades de la piel y del tejido subcutáneo	5	0.4%
16	Influenza y neumonía	5	0.4%
17	Dengue	4	0.3%
18	Leishmaniasis	4	0.3%
19	Otras enfermedades del sistema urinario	4	0.3%
20	Aterosclerosis	3	0.2%
Las	demás enfermedades	37	2.8%
Sin	especificar enfermedad	676	51.8%
	Total	1306	100.0%

En la Tabla 24 se visualizan las enfermedades que son abordas en las patentes. Como se indicó en la sección 4.2, en el periodo de estudio (2000-2021) se otorgaron 307 patentes sobre nanomedicina en México, de las cuales 256 son de propietarios extranjeros y 51 de propietarios mexicanos. Dado que esta investigación se enfoca en el desarrollo de la nanomedicina en México, la identificación de enfermedades se realizó únicamente en las patentes otorgadas a mexicanos.

**Tabla 24**. Enfermedades identificadas en las patentes.

#	Enfermedades	No. de patentes	% del total de patentes	
1	Tumores malignos	8	15.7%	
2	Heridas no especificadas	7	13.7%	
3	Infección bacteriana no especificada	4	7.8%	
4	Diabetes	3	5.9%	
5	Enfermedad de Parkinson	3	5.9%	

#	Enfermedades	No. de patentes	% del total de patentes
6	Micosis	3	5.9%
7	Trastornos de la densidad y de la estructura óseas	2	3.9%
	Enfermedades de la cavidad bucal, de las glándulas		
8	salivales y de los maxilares	2	3.9%
9	Enfermedades de la piel y del tejido subcutáneo	1	2.0%
10	gastritis y duodenitis	1	2.0%
	Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías		
11	cromosómicas	1	2.0%
12	Influenza y neumonía	1	2.0%
13	Enfermedades del ojo y sus anexos	1	2.0%
14	Enfermedades del hígado	1	2.0%
15	Poliartropatías inflamatorias	1	2.0%
16	Enfermedades del sistema nervioso	1	2.0%
Sin e	Sin especificar enfermedad		21.6%
	Total	51	100.0%

Al igual que lo observado en los artículos, los tumores malignos encabezan la lista de enfermedades en las patentes, y le siguen las heridas e infecciones no especificadas. Una diferencia importante entre los datos de enfermedades de artículos y patentes es el porcentaje de documentos que se orientan hacia enfermedades específicas; en el caso de los artículos es el 48.2%, y en el caso de las patentes es el 78.4%. Esto responde a las características de cada tipo de documento; por un lado, los artículos tienen la finalidad de difundir el conocimiento, sea este aplicado o no, y por otro, las patentes sirven para proteger invenciones que tengan aplicaciones prácticas. De hecho, la "aplicación industrial" es un requisito indispensable para que una invención sea patentable, así lo establece la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial<sup>25</sup>. Por lo tanto, el mayor enfoque de las patentes hacia enfermedades específicas obedece a esta "aplicación industrial" que se exige en el patentamiento.

En la Tabla 25 se indica el número de artículos y patentes que están asociados a las principales causas de muerte.

**Tabla 25.** Artículos y patentes relacionadas con las principales causas de muerte.

#	Principales causas de muerte	No. de defunciones (2000-2020)	No. de artículos	No. de patentes
1	Enfermedades del corazón	2,284,810	15	0

\_

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> La aplicación industrial, según la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial, se define como "la posibilidad de que una invención pueda ser producida o utilizada en cualquier rama de la actividad económica". Fuente: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFPPI\_010720.pdf. Consultado el 2 de octubre de 2022.

#	Principales causas de muerte	No. de defunciones (2000-2020)	No. de artículos	No. de patentes
2	Diabetes	1,728,364	26	3
3	Tumores malignos	1,492,401	315	8
4	Enfermedades del hígado	695,486	1	1
5	Enfermedades cerebrovasculares	648,313	0	0
6	Influenza y neumonía	391,739	5	1
7	Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas	373,472	0	0
8	Ciertas afecciones originadas en el período perinatal	307,701	0	0
9	Insuficiencia renal	243,735	1	0
10	COVID-19	199,419	7	0
11	Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas	191,947	1	1
12	Desnutrición y otras deficiencias nutricionales	168,614	0	0
13	Bronquitis crónica, enfisema y asma	121,033	0	0
14	Enfermedad por virus de la inmunodeficiencia humana	100,738	6	0
15	Sepsis	82,336	1	0
16	Enfermedades infecciosas intestinales	81,206	8	0
17	Anemias	74,083	0	0
18	Úlceras gástrica y duodenal	55,974	0	0
19	Síndrome de dependencia del alcohol	55,122	0	0
20	Tuberculosis	48,636	6	0

Las enfermedades del corazón son la principal causa de muerte en México, y sin embargo, hay pocos artículos relacionados con estas enfermedades, y más aún, no hay ninguna patente sobre este tema. Las enfermedades del corazón podrían ser un área de oportunidad para la nanomedicina en México, ya que esta disciplina ofrece alternativas novedosas para tratar dichos padecimientos. De acuerdo con Lin et al. (2021), la nanomedicina posibilita la liberación de fármacos y biomoléculas terapéuticas de manera específica al miocardio, con lo que se pueden superar las limitaciones de las terapias convencionales para este tipo de enfermedades.

La diabetes es la segunda causa de muerte en México. En la Tabla 25 de observa que hay pocos artículos y patentes sobre esta enfermedad, lo que podría representar otra área de oportunidad para la nanomedicina en México. Danquah & Jeevanandam (2022) señalan que la nanomedicina puede contribuir al combate de la diabetes con innovaciones tales como nanosensores para medir la glucosa (útiles en el diagnóstico y control de la enfermedad), así como parches transdérmicos nanoestructurados para la administración de insulina.

Los tumores malignos, que representan la tercera causa de muerte en México, concentran el mayor número de artículos y patentes. En este caso en particular sí hay una orientación de la I+D hacia un problema prioritario de salud (los tumores malignos) ya que hay una elevada producción de artículos y patentes sobre el tema.

La predominancia del tema de tumores malignos en los artículos y patentes de México, podría deberse al seguimiento de tendencias internacionales. En Estados Unidos y Europa la mayor parte de la I+D en nanomedicina se concentra en cáncer (tumores malignos) (Woodson, 2016). Park (2019) cuestiona este enfoque de la nanomedicina porque el cáncer apenas es responsable del 25% de las muertes en Estados Unidos, y plantea la necesidad de expandir la I+D hacia otras enfermedades.

#### 4.6 Entrevistas

De los 57 expertos que fueron invitados a participar en las entrevistas, 11 aceptaron ser entrevistados. Las entrevistas se llevaron a cabo entre agosto y noviembre de 2022 y tuvieron una duración de entre 15 minutos y una hora. Las grabaciones de las entrevistas se transcribieron para poder analizar a detalle las respuestas de los entrevistados. En las transcripciones se omitieron los nombres de los entrevistados a fin de respetar su anonimato, y en vez de nombres se colocaron los códigos E1, E2, E3..., E11, donde la letra E significa "entrevistado".

En la Tabla 26 se muestran los perfiles de los entrevistados. Se observa que todos ellos son investigadores e inventores; sin embargo, no hay representantes del sector salud ni del sector empresarial, esto a pesar de que a ellos también se les invitó a participar en el estudio. Los entrevistados están adscritos a distintas IES y centros de investigación: UNAM, CINVESTAV, UASLP, BUAP, UACJ, ININ y CIQA. La formación académica de los entrevistados es diversa e incluye ciencia de materiales, química, ingeniería, medicina y fisiología. Esta diversidad profesional confirma el carácter multidisciplinario de la nanomedicina que ya ha sido señalado por otros investigadores (Nance, 2019; Wu et al., 2020).

Tabla 26. Perfil de los entrevistados

Código	Código Ocupación Formación académica Línea de investigación				
Courgo	Ocupación	Formación academica	- Desarrollo de materiales de uso médico		
E1	Investigador, inventor	- Doctorado en Ciencia de Materiales	que puedan ser de gran beneficio para la sociedad.		
E2	Investigador	<ul> <li>Doctorado en Ingeniería</li> <li>Química</li> <li>Maestría en Ingeniería</li> <li>Química</li> <li>Ingeniería Bioquímica</li> </ul>	- Nanobiotecnología.		
Е3	Investigador, inventor	<ul><li>Doctorado en fisiología</li><li>Maestría en Ciencias</li><li>Médico Cirujano</li></ul>	<ul> <li>Nanomedicina y terapia génica para el tratamiento de la enfermedad de Parkinson y tumores.</li> </ul>		
E4	Investigador, inventor	<ul> <li>Doctorado en Ciencias Químicas</li> <li>Maestría en Ciencias Químicas</li> <li>Licenciatura en Química Industrial</li> </ul>	Aplicación de nanomateriales en:  - Control de enfermedades crónicodegenerativas (diabetes mellitus).  - Regeneración tisular en heridas y quemaduras.  - Odontología.		
E5	Investigador retirado, inventor	<ul> <li>Doctorado en Ciencia y</li> <li>Tecnología de Polímeros</li> <li>Maestría en Química</li> <li>Ingeniería Química</li> </ul>	Preparación y caracterización de nanopartículas poliméricas cargadas con fármacos para tratar el cáncer.		
E6	Investigador	<ul> <li>Doctorado en Ciencia de Materiales</li> <li>Maestría en Ciencia de Materiales</li> <li>Ingeniería Química</li> </ul>	<ul> <li>Nanopartículas tipo core-shell para liberación de fármacos.</li> <li>Liberación transdérmica con el uso de nanoestructuras.</li> </ul>		
E7	Investigador	<ul> <li>Doctorado en Ciencias Químicas</li> <li>Maestría en Ciencias Químicas</li> <li>Licenciatura en Química Farmacéutica Biológica</li> </ul>	- Desarrollo de sistemas de liberación de fármacos en la nanoescala.		
E8	Investigador	<ul> <li>Doctorado en Ingeniería de Materiales</li> <li>Maestría en Química Inorgánica</li> <li>Ingeniería Química</li> </ul>	- Síntesis de nanopartículas metálicas y cerámicas con bioaplicaciones en liberación de fármacos, diagnóstico y tratamiento.		
Е9	Investigador	<ul> <li>Doctorado en Bioquímica Estructural</li> <li>Maestría en Microbiología- Biotecnología</li> <li>Licenciatura en Química Farmacéutica Biológica</li> </ul>	<ul> <li>Uso de nanoestructuras biomiméticas para atender problemas de biomedicina.</li> <li>Liberación de fármacos a través de nanoestructuras.</li> <li>Vacunas y diagnósticos basados en nanotecnología.</li> </ul>		
E10	Investigador, inventor	<ul><li>Doctorado en Física</li><li>Médica</li><li>Ingeniería Biomédica</li></ul>	Desarrollo de nanopartículas     radiomarcadas para el diagnóstico y     tratamiento de enfermedades.		
E11	Investigador, inventor	<ul> <li>Doctorado en Física</li> <li>Médica</li> <li>Licenciatura en Química</li> <li>Farmacéutica Biológica</li> </ul>	- Desarrollo de nanopartículas radiomarcadas para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades.		

En las entrevistas se abordaron distintos temas: a) investigación y financiamiento, b) patentamiento y transferencia tecnológica, c) beneficio social de la I+D, d) riesgos de los nanomateriales en la salud, e) emprendimiento en el sector nanomédico y f) desafíos de la nanomedicina en México y perspectivas a futuro.

En el rubro de investigación y financiamiento, se les preguntó a los entrevistados acerca de los medios de obtención de recursos para sus proyectos, así como las colaboraciones que han entablado con otras IES, centros de investigación, empresas y el sector salud. La mayoría de los entrevistados declaró que su principal fuente de financiamiento ha sido el CONACYT y otros también mencionaron apoyos de financiamiento internos por parte de sus instituciones. En cuanto a colaboraciones con otras IES y centros de investigación, todos los entrevistados señalaron que sí las tienen. De manera particular, algunos investigadores pertenecientes a universidades del interior de la república mencionaron que ellos se ven en la necesidad de buscar colaboraciones para poder llevar a cabo sus proyectos, pues la infraestructura de sus instituciones es limitada, y entonces, a través de las colaboraciones, pueden hacer uso de equipos y laboratorios con los que ellos no cuentan:

E4: "Tu servidor, muy en particular, trabaja con los amigos que se encuentran en la UNAM, en la Metropolitana, en Nuevo León, en Guanajuato, en San Luis Potosí y en el CINVESTAV [...] Tenemos poca infraestructura en la universidad y no contamos con ciertos equipos que se requieren para estudiar las propiedades fisicoquímicas de los nanomateriales, pero lo tienen otras universidades y entonces nos apoyamos con los amigos".

E2: "CONACYT pues sí da financiamiento, pero no siempre, y es ahí donde te ves forzado a colaborar para compartir equipo, para compartir lo que sea. Entonces, trabajo con mucha gente de aquí mismo de la universidad, y en esta misma búsqueda de "necesitamos hacer esto, necesitamos hacer lo otro" pues uno termina trabajando con personas que están en otros estados, en Querétaro hay gente con la que colaboro, en Coahuila, en Sonora, ahí en México".

Respecto a colaboraciones con empresas, solamente un investigador declaró sí tenerla. Se trata de una colaboración con el consorcio "Nanoparticle Therapy Institute" que busca impulsar un tratamiento basado en nanomedicina para la enfermedad de Parkinson:

E3: "...estoy colaborando con una empresa que se formó para llevar una de las aplicaciones que yo tengo a la clínica del Parkinson [...] no hemos generado todavía ningún producto porque apenas se inició. Entonces, estamos en espera de consolidar el trabajo de colaboración con esta empresa para pronto tener productos; uno esperado podría ser la aplicación ya de nuestro desarrollo de terapia génica utilizando nanomedicina para el Parkinson".

En cuanto a colaboraciones con el sector salud, algunos entrevistados refieren que sí han tenido este tipo de colaboración con instituciones tales como la Secretaría de Salud de Coahuila, el ISSSTE, el Hospital Infantil de México y el Hospital Los Ángeles. Otros de los entrevistados mencionaron no tener colaboraciones con el sector, no por falta de interés, sino por obstáculos en la vinculación:

RSV: "¿Usted ha colaborado con instituciones del sector salud o con empresas?" E4: "No, y eso no quiere decir que yo no quiera. Me acerqué al IMSS, ya tiene tiempo, como hace cuatro o cinco años [...] les platiqué sobre la investigación, y pues desgraciadamente la burocracia y todo eso [...] El director me dijo que solamente se podría dar una plática y hasta ahí; hasta ahí porque él no veía como se iba a tener una relación entre una institución de salud y una universidad. Y yo no quería hacer negocio, yo no quería hacer publicidad para tu servidor, sino quería apoyar a la población y hasta ahí, nada más. Incluso hasta me dieron cita para la conferencia y todo eso; después no sé qué hubo, me dijeron que ya no se podía porque hubo un problema y hasta ahí.

En el rubro de patentamiento y transferencia tecnológica, de los 11 entrevistados, 6 declararon tener patentes otorgadas o en trámite sobre nanomedicina. De ellos, solamente uno refirió tener una de sus patentes en licenciamiento:

E3: "...la patente que se tiene es una patente internacional, que se tiene licenciada para la empresa esta nueva que se formó [Nanoparticle Therapy Institute] para la aplicación del Parkinson".

A los entrevistados también se les preguntó sobre las dificultades que tuvieron para patentar, y entre sus respuestas están los tiempos tan largos para obtener el título de la patente, la disminución de la productividad académica debido a la imposibilidad de publicar el conocimiento relacionado con la patente, la obtención de financiamiento para cubrir los gastos derivados del patentamiento, y finalmente, la búsqueda de relaciones con el sector empresarial para explotar la patente:

E5: "Básicamente los tiempos tan largos que tiene el IMPI para responder. Uno normalmente efectúa la solicitud de patente y hasta los tres o cuatro años es cuando empiezan a llegar los primeros requerimientos, primero de forma y luego de fondo, entonces fácilmente se puede llevar cinco o seis años para que nos otorguen la patente".

E3: "...una de las primeras dificultades es que mi producción científica bajó mucho [...] para patentar se requiere no difundir el conocimiento hasta en tanto esté la solicitud de patente registrada y eso pues puede llevar varios años [...] la otra es que las patentes son muy caras, entonces uno busca financiamientos que puedan registrar patentes, sobre todo las internacionales cuando menos en dos países ¿por qué no en más? porque ya no ajustó el presupuesto [...] y luego tener que estar manteniendo las membresías actualizadas. La patente no es nada más solo registrarla, sino que hay que estar pagando una cuota anual

para que estén vigentes durante 20 años, que es lo que dura una patente nacional o internacional. Y luego viene la otra parte, ahora buscar socios en la industria para poder llevar el conocimiento a la práctica. Y todo es angustia, no hay mecanismos en México para hacerlo más fácil, más rápido".

En lo referente al beneficio social de la I+D, se les preguntó a los entrevistados qué grupo de la sociedad consideran que se ve más beneficiado con el trabajo de investigación que ellos realizan, y la mayoría de ellos respondió que se beneficia la gente que padece alguna enfermedad relacionada con sus líneas de investigación: cáncer, diabetes y Parkinson. Un ejemplo de esto es lo que refiere un investigador que desarrolla nanomateriales para el tratamiento de heridas, principalmente de pie diabético:

E4: "...un paciente que tenga una herida de pie diabético (ya crónico), el médico le dice "te programo la cirugía para cortarte la extremidad, tú dices" [...] nosotros les damos otra orientación, otra ventaja, otra luz al final del túnel al paciente. Y hemos logrado, te lo digo así sinceramente, hemos logrado que no le corten la extremidad al paciente; a pesar de que ya es una zona putrefacta, horrible. [...] Y entonces, nosotros hemos logrado con estos nanomateriales que ya están patentados su recuperación en este sentido".

Otro de los entrevistados señaló que la única población beneficiada son los estudiantes de posgrado que se gradúan con esos temas, porque hasta el momento, los resultados de su investigación no han sido llevados a la aplicación clínica:

E2: "Siempre está la respuesta política de que se beneficia a los estudiantes para cuando se gradúan en estos temas [...] actualmente sí queremos desarrollar nanovacunas (vacunas que tengan un componente de alguna partícula nanométrica) y lo estamos viendo para eso, para salud. Eso beneficiaria a toda la población, no solo a algún grupo, pero eso el algo lejano. Así como tal, en este momento, solo está el beneficio a la sociedad en la formación de recursos humanos".

En el rubro de riesgos, se les preguntó a los entrevistados si ellos han realizado estudios toxicológicos de los nanomateriales con los que ellos trabajan. Algunas respuestas que se obtuvieron fueron las siguientes:

E1: "...tenemos que hacer los estudios en modelos animales, o también en líneas celulares, para poder validar que realmente el producto no sea nocivo, qué concentraciones son las ideales para que el producto no cause daño en el cuerpo [...] de hecho, gracias a esas investigaciones, pudimos formar un laboratorio de cultivo celular aquí en CIQA por la necesidad que tenemos de probar esos nanomateriales, de estar seguros que las concentraciones que estamos utilizando son las ideales".

E3: "En mi caso, en el desarrollo que estamos haciendo, hemos demostrado que nuestras nanopartículas son inocuas, no activan la inflamación, no activan la respuesta inmunológica, no causan más daño del que ya existe en el caso del Parkinson, en el

animal de experimentación desde luego. Entonces, todo eso lo hemos demostrado y eso lo tenemos que demostrar ahora en un estudio adecuado que se tiene que hacer para llevarlo a la clínica".

E4: "...lo aplicamos en un modelo animal, que generalmente son ratas, entonces la aplicación de los nanomateriales cubre 30 o 60 días; después de 60 días [...] se sacrifica a los animales [...] para ver si en órganos fundamentales de ese modelo animal existe una repercusión. Y hasta el momento, [...] hemos visto que el nanomaterial que aplicamos no produce reacciones secundarias y no lastima gravemente los órganos que presentan las ratas [...] Posiblemente se requiere más tiempo, pero en las condiciones en las que estamos, más tiempo significa más dinero, más apoyo, y desgraciadamente no tenemos muchas veces ese apoyo, por eso las debemos de sacrificar a los 30 o 60 días de haberse aplicado el nanomaterial".

En el tema de emprendimiento se le preguntó a los entrevistados si han fundado alguna empresa relacionada con nanomedicina y todos respondieron que no, ya sea porque no tienen vocación de empresarios, o bien, porque su calidad de servidores públicos se los impide.

Finalmente, se les preguntó a los entrevistados su parecer respecto a los desafíos que enfrenta la nanomedicina en México y las perspectivas que tienen sobre esta disciplina a futuro. En la Tabla 27 se presentan algunos de los desafíos que señalaron los entrevistados.

**Tabla 27**. Desafíos que enfrenta la nanomedicina en México según los entrevistados.

<b>Tabla 27.</b> Desafíos que enfrenta la nanomedicina en México según los entrevistados.			
Desafío	Cita		
Financiamiento	E4: "En México, la investigación casi casi uno la tiene que hacer por el divino santo. Eso no quiere decir que no hay apoyo. Sí hay apoyo, pero es poco. Muy particularmente tu servidor, en la mayoría de las investigaciones, tiene que poner de su bolsa, dinero de su bolsa porque pedimos apoyo a cierto tipo de instancias, tanto universitarias como externas y desafortunadamente no hay apoyo. Inclusive para plasmar los resultados que se tienen, y buenos resultados que se tienen en la investigación, para plasmarlos en una revista internacional de prestigio, llámese artículo, también nos es muy difícil."  E5: "Definitivamente yo pienso que es apoyo económico, es el primero. Se necesita mucho dinero para lograr el desarrollo del producto y llevarlos hasta niveles donde puedan ser interesantes para las empresas farmacéuticas, porque las pruebas en animales y las pruebas clínicas son muy costosas. Los fármacos mismos que se utilizan para ser cargados en las partículas, los fármacos antineoplásicos son también muy caros, entonces sí se necesita una buena cantidad de dinero para poder avanzar en esto".		
	E9: "La continuidad en apoyos es un problema que se tiene. A mí me atemoriza pensar que se ha logrado tener un cierto número de investigadores que inician estudiando nanomedicina, pero que la falta de apoyos y de recursos vaya a ocasionar que se pierda la continuidad y la transmisión de conocimiento de generación a generación. Las personas que ya están colocadas pueden tal vez continuar con dificultades si se abate el apoyo al		

Desafío	Cita
	área de investigación, pero lo que se va a ocasionar es que nuevos investigadores no vayan a entrar, entonces se pierden escuelas de maneras de hacer investigación o de transmitir o de ir encargando laboratorios a personas más jóvenes".
Patentamiento y transferencia tecnológica	E3: "En México no se fomenta la protección del conocimiento [] Cuando no se patentan las ideas, los desarrollos, y no solamente que no se patenten, sino que no se fomente la transferencia tecnológica a la industria, pues no hay ingresos, así de sencillo. Y no hay ingresos no solamente a las instituciones que son las dueñas de las patentes [] en general, si tú lo ves desde el punto
Canasitasián	de vista global, pues México no va a tener ingresos. Entonces seguimos siendo un país dependiente de la tecnología de primer mundo. No tenemos tecnología propia".
Capacitación	E2: "El primer desafío es la gente que tiene que estar completamente capacitada, o sea, no basta con decir, "trabajo con nano y ya soy nano". Para mí es bien claro que mucha de la gente no tiene idea de qué es un sistema nanométrico más allá de las dimensiones, entonces falta capacitación real sobre la gente que actualmente trabaja con nano. Si no se capacita esta gente, las aplicaciones todavía van a ser muy lejanas. Ese es desde mi punto de vista el primer reto".
Beneficio a la sociedad	E2: "Deberíamos hacer una valoración efectiva de donde sí creemos que sí hay futuro y donde no, y dejar ese no y enfocarnos en ese sí, si no nunca vamos a beneficiar a la sociedad. Yo por eso me metí a este proyecto de nanovacunas porque ahí puedo ver que eventualmente sí va a haber un
Normatividad	beneficio a la sociedad".  E6: "En México, lo que es la nanotecnología o nanoestructuras, nanopartículas, no hay una normatividad, entonces eso es lo que te limita un poco la aplicación de la nanotecnología o nanoestructuras en el área biomédica [] ellos [COFEPRIS, Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios] no tienen la normatividad para regular un producto con nanotecnología aplicada al área biomédica [] la normatividad de este tipo de productos, la normatividad en México, la normatividad global, son un gran desafío que se tiene que vencer para que pueda haber productos".
Comunicación entre distintas disciplinas	E6: "El trabajo con biólogos, con químicos, con farmacólogos, es un grupo multidisciplinario [inaudible], cada quien tiene su lenguaje y a veces eso es una barrera. [] Por ejemplo, cuando yo he propuesto proyectos, los médicos [inaudible] te evalúan la parte biológica muy crítica y te dicen "eso no sirve de nada". Y luego vas con los ingenieros y ellos no entienden la parte biológica y también te dicen que eso no va a servir [inaudible]. Entonces es bastante complicada la situación porque estás en medio de disciplinas muy establecidas y no eres ni de una ni de otra, y pues se tiene esa barrera mental, esa barrera de conocimientos, y cuesta mucho pasarse de un lado de ingeniería a la biología [inaudible]".

En cuanto a las perspectivas a futuro, en la Tabla 28 se muestran las respuestas que dieron los entrevistados a la pregunta "¿cómo ve usted el desarrollo de la nanomedicina en México en los próximos diez años?".

Tabla 28. Perspectivas a futuro de los entrevistados sobre la nanomedicina en México.

Código	Perspectivas
E1	"Pues creo que puede tener mucho impulso la verdad, y muchas cosas se pueden hacer,
	pero nos detiene lo que te comentaba: las reglas que ya existen en el sistema".
E2	"Yo esperaría que en un futuro a diez años México ya pudiera estar inmunizando no solo
	para este virus [SARS-COV-2] sino para otros virus, deberíamos ya de estar
	inmunizando con vacunas que estén basadas en nanopartículas".
E3	"Pues espero que cuando menos si no se fortalece se mantenga".
E4	"Yo vería a México como una potencia en nanomateriales porque son muchos mexicanos
	investigadores que trabajan con nanomateriales, y los nanomateriales se pueden aplicar al sector salud".
E5	"Así como estamos ahorita, no creo que vaya a pasar mucho más que lo que ha venido
23	pasando".
E6	"Pues así como está la situación en México con los financiamientos y la problemática
	político-social, pues creo que va a avanzar muy lento".
E7	"Veo que en los siguientes diez años va a haber avances, tal vez de una manera lenta,
	[] pero eso lo podemos tomar como una ventaja, para que en cada paso tengamos el
	tiempo de analizar, discutir, cuestionarnos y encontrar algo que tal vez en otros países,
	por la oportunidad que tienen de hacerlo tan rápido, lo van pasando por alto".
E8	"La veo con un panorama entusiasta, eso quiero pensar, pero también creo que si no nos
	apoya el gobierno, no vamos a poder hacer mucho [] creo que si no se cambia la
FO	estrategia del gobierno y no apoya más a la ciencia, ahí sí vamos a tener un retraso".
E9	"Veo personas jóvenes con buenas capacidades y que les interesa mucho el tema, y yo
E10	creo que es importante no desatender el apoyo a estos jóvenes".
EIU	"El interés de los investigadores en México es muy grande y creo que tenemos la capacidad de seguir haciéndolo. Sin embargo, creo que sí falta apoyar a las
	instituciones"
E11	"Es un campo que está creciendo y pienso que en un tiempo no muy lejano vamos a
LII	poder tener medicinas basadas en nanopartículas porque somos varios grupos que
	estamos trabajando en esto. Y si estamos trabajando en esto es porque le vemos un
	potencial enorme a esto para poder ayudar a la sociedad mexicana".
	Francisco de la casa para poura aj aum a la contenua membrana.

Las perspectivas a futuro que tienen los investigadores sobre la nanomedicina en México (Tabla 28) están relacionadas con los desafíos que ellos mismos han identificado en el sector (Tabla 27). Por ejemplo, E6 pronostica que la nanomedicina "va a avanzar muy lento" debido, entre otras cosas, a los problemas de financiamiento; y en este mismo sentido, E8 advierte que la falta de apoyos por parte del gobierno puede conducir incluso a un retraso en esta disciplina. No obstante, también hay perspectivas un poco más optimistas como las de E2 y E4 quienes vislumbran un desarrollo importante en nanomateriales para el sector salud y nanovacunas.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación son consistentes con la mayoría de los supuestos planteados en la hipótesis.

El primer supuesto de la hipótesis, relativo al incremento de las actividades de I+D de la nanomedicina en México en los últimos años, se confirmó con los resultados del análisis bibliométrico y de patentes. En el periodo 2000-2021 se publicaron 1306 artículos científicos y se otorgaron 307 patentes sobre nanomedicina en México. Ahondando específicamente en la publicación de artículos, durante la primera década del periodo solamente se publicaron 85 artículos, pero en la segunda década esta cifra ascendió a 1028. En cuanto a patentes, durante la primera década el otorgamiento de patentes fue casi nulo e intermitente, pero ya en la segunda década el patentamiento fue continuo y con una tendencia creciente que se ha mantenido la fecha. Este incremento en las actividades de I+D refleja la incidencia cada vez mayor que tiene la nanotecnología en medicina.

El segundo supuesto de la hipótesis, que hace referencia a la escasez de empresas y productos de nanomedicina en México, también se corroboró. Se localizaron 13 empresas mexicanas relacionadas con nanomedicina, ya sea porque tienen patentes otorgadas en el tema o porque declaran tener actividad en el sector, pero no todas ellas producen o comercializan productos nanomédicos. En este sentido, solamente se identificaron 5 productos mexicanos que ya están en el mercado.

El tercer supuesto de la hipótesis, que plantea que hay poca vinculación de la I+D con las necesidades prioritarias de salud en México, resultó ser parcialmente cierto. Las necesidades prioritarias de salud se identificaron a través de las principales causas de muerte en México. Esta información reveló que existen tres enfermedades que en su conjunto han ocasionado más de la mitad de las defunciones en las dos últimas décadas y que por lo tanto deberían tener prioridad para la I+D: enfermedades del corazón, diabetes y tumores malignos. Se encontró que hay pocos artículos y patentes que aborden las dos primeras causas de muerte. De los 1306 artículos de nanomedicina identificados en esta investigación, solamente 15 están relacionados con las enfermedades del corazón y 26 con la diabetes. Algo similar se observó en el patentamiento: de las 51 patentes otorgadas a propietarios mexicanos, ninguna

se ocupa de las enfermedades del corazón y solo 3 conciernen a la diabetes. Estos datos revelan que la I+D de nanomedicina en México no ha estado muy vinculada con las dos primeras causas de muerte en el país. Esto podría representar un área de oportunidad para la nanomedicina en México, ya que de acuerdo con la literatura científica, esta disciplina también puede contribuir en el tratamiento de las enfermedades cardiacas y de diabetes (Danquah & Jeevanandam, 2022; Lin et al., 2021). Por otra parte, los tumores malignos, que representan la tercera causa de muerte en el país, son el padecimiento más abordado tanto en artículos (315) como en patentes (8). En este caso sí hay una mayor vinculación de la I+D con un problema prioritario de salud en México (los tumores malignos).

El último supuesto de la hipótesis, en el que se sugiere que la I+D de la nanomedicina en México enfrenta desafíos entorno al financiamiento, patentamiento y transferencia tecnológica, también se confirmó. Esto se indagó a través de entrevistas a investigadores e inventores, y todos ellos señalaron que el reducido financiamiento es uno de los principales desafíos. En cuanto a patentamiento, algunos entrevistados refirieron que el sistema mexicano no ofrece suficientes estímulos para patentar. Y respecto a transferencia tecnológica, pocos investigadores declararon tener vínculos con empresas y hospitales; esta baja vinculación al exterior de la academia podría representar un obstáculo para que los resultados de las investigaciones lleguen al sector salud y al mercado. Además de estos tres desafíos (financiamiento, patentamiento y transferencia tecnológica) que se habían contemplado inicialmente en la hipótesis, los entrevistados señalaron otros más: falta de capacitación, poca orientación de las investigaciones hacia el beneficio social, normatividad incipiente en el área, y dificultad para comunicarse con expertos de diferentes disciplinas en el contexto multidisciplinario de la nanomedicina.

Los entrevistados también expresaron sus puntos de vista sobre cómo se podrían enfrentar algunos de estos desafíos:

En el tema de financiamiento, uno de los entrevistados (E5) propone que los recursos económicos, que son escasos, se destinen únicamente a los proyectos de calidad: "ubicar el dinero, el dinero que hay, en los buenos proyectos y en las buenas ideas [...] ahorita como está, cualquiera puede hacer una propuesta en nanomedicina, y si se tiene suficiente suerte,

aunque no suficiente calidad, en un momento puede ser aceptado, y sería tirar el dinero a la basura".

En el desafío de capacitación, otro de los entrevistados (E2) manifiesta la necesidad de que los investigadores continúen formándose y actualizándose: "[la gente que trabaja en nanomedicina] tiene que tomar cursos de capacitación, pero realmente lo tiene que impartir alguien que sepa. Por lo que yo veo, no estamos capacitados, pues no fuimos bien formados y alguien tiene que arreglar eso con un curso de capacitación. Pero lo primero que tiene que pasar, la gente tiene que reconocer que tiene una deficiencia en la formación y si quiere seguir trabajando en esto pues debería de seguir actualizándose".

Para solventar el desafío del beneficio social en los proyectos de investigación, E2 plantea que "siempre tiene que haber una visión de beneficiar a la sociedad y eso va a establecer que tiene más potencial o que no lo tiene. Hay mucha gente que trabaja con materiales supercomplicados de sintetizar y que no van a servir para nada [...] Alguien debería de tomar esta decisión de qué materiales son más promisorios y sobre de ellos trabajar [...] que alguien más tenga esa visión de hacia dónde nos movemos, el CONACYT por ejemplo [...] Esa decisión también debería ser personal, o sea, la gente debería de moverse de sus materiales en el momento en que se da cuenta que igual lo enseñaron a trabajar con un material que no tiene futuro, "pues cámbiate de material". Este cambio de material también implica que si conoces realmente la parte nano no te debería causar ningún conflicto".

Y en cuanto a los desafíos de patentamiento, uno de los entrevistados (E3) propone lo siguiente: "tenemos que arriesgarnos a patentar, y no solamente a patentar, sino a hacer todo el esfuerzo para que la patente se lleve a cabo a una empresa o a algún otro organismo o instituto que la fomente. En este caso de la nanomedicina, primero el conocimiento tiene que estar transferido a una empresa farmacéutica para que esto se lleve después a la clínica".

La principal limitación de esta investigación es la posible omisión de información sobre artículos, patentes, empresas y productos que tal vez no pudo ser identificada con la metodología empleada en este trabajo. La nanomedicina es una disciplina emergente que aún no tiene una terminología completamente estandarizada (Quirós Pesudo et al., 2018) y ello impide la construcción de cadenas de búsqueda que puedan identificar la totalidad de la información. No obstante, para reducir este posible sesgo, las cadenas de búsqueda que se

usaron en esta investigación combinan una variedad de términos que se han empleado en trabajos previos (Wagner et al., 2006, 2008; Invernizzi et al., 2015; Choi & Hong, 2020), y además se añadieron otros términos producto de la revisión constante de la literatura. El resultado fueron cadenas de búsqueda muy robustas que contrastan con la simpleza de otros trabajos, también de bibliometría en nanomedicina, donde únicamente se utiliza el término "nanomedicine" (Bragazzi, 2019). Por otra parte, en México no existe una regulación que obligue a un etiquetado específico para productos basados en nanotecnología, lo que también limitó la identificación de empresas y productos de nanomedicina. Otra limitación, en cuanto a la búsqueda de grupos y proyectos de investigación, fue el hecho de que algunos sitios web de IES y centros de investigación no ofrecen información completa o están desactualizados.

Finalmente, la aportación más importante de esta investigación doctoral es el haber obtenido un panorama de la nanomedicina en México que anteriormente no se tenía debido a la dispersión y falta de sistematización de la información sobre el tema. La importancia de este trabajo la expresó así uno de los entrevistados: "...ni siquiera conozco mi gremio, ni siquiera de los profesores que están en el programa de nanociencias y nanotecnología, a pesar de que participo en el programa; mi visión es muy limitada porque tengo que concentrarme en lo mío para poder ser eficiente [...] nunca he tenido la curiosidad para ver cuáles son mis colegas, eso quita mucho tiempo [...] yo creo que tu trabajo va a ser muy importante, por esa razón decidí participar, porque tú vas a difundir quienes somos aquí en México y qué estamos haciendo" (E3).

## 6. REFERENCIAS

- Abdel-Mageed, H. M., AbuelEzz, N. Z., Radwan, R. A., & Mohamed, S. A. (2021). Nanoparticles in nanomedicine: A comprehensive updated review on current status, challenges and emerging opportunities. *Journal of Microencapsulation*, *38*(6), 414-436. https://doi.org/10.1080/02652048.2021.1942275
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007
- Arteaga Figueroa, E. (2022). *Nanotecnologías en medicamentos y productos de cuidado personal en México*. https://relans.org/wp-content/uploads/Nanotecnologi%CC%81a-en-medicamentos-y-productos-para-la-salud-en-Me%CC%81xico.pdf
- ATLAS.ti Qualitative Data Analysis (Director). (2021, enero 25). *Transcribing data with ATLAS ti 9 Mac.* https://www.youtube.com/watch?v=BUhfBYedUUU
- Bambole, V., & Yakhmi, J. V. (2016). Chapter 14 Tissue engineering: Use of electrospinning technique for recreating physiological functions. En A. M. Grumezescu (Ed.), *Nanobiomaterials in Soft Tissue Engineering* (pp. 387-455). William Andrew Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-42865-1.00014-3
- Berthiaume, F., Maguire, T. J., & Yarmush, M. L. (2011). Tissue Engineering and Regenerative Medicine: History, Progress, and Challenges. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 2(1), 403-430. https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-061010-114257
- Bragazzi, N. L. (2019). Nanomedicine: Insights from a Bibliometrics-Based Analysis of Emerging Publishing and Research Trends. *Medicina*, *55*(12), 785. https://doi.org/10.3390/medicina55120785
- Caycho-Rodríguez, T., Tomás, J. M., Valencia, P. D., Ventura-León, J., Vilca, L. W., Carbajal-León, C., Reyes-Bossio, M., White, M., Rojas-Jara, C., Polanco-Carrasco, R., Gallegos, M., Cervigni, M., Martino, P., Palacios, D. A., Moreta-Herrera, R., Samaniego-Pinho, A., Rivera, M. E. L., Figares, A. B., Puerta-Cortés, D. X., ... Saroli-Araníbar, D. (2022). COVID-19 anxiety, psychological well-being and preventive behaviors during the COVID-19 pandemic in Latin America and the Caribbean: Relationships and explanatory model. *Current Psychology*. https://doi.org/10.1007/s12144-022-03389-0
- Chamundeeswari, M., Jeslin, J., & Verma, M. L. (2019). Nanocarriers for drug delivery applications. *Environmental Chemistry Letters*, *17*(2), 849-865. https://doi.org/10.1007/s10311-018-00841-1
- Chidambaram, M., Manavalan, R., & Kathiresan, K. (2011). Nanotherapeutics to Overcome Conventional Cancer Chemotherapy Limitations. *Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, *14*(1), Art. 1. https://doi.org/10.18433/J30C7D
- Choi, Y., & Hong, S. (2020). Qualitative and quantitative analysis of patent data in nanomedicine for bridging the gap between research activities and practical

- applications. *World Patent Information*, *60*, 101943. https://doi.org/10.1016/j.wpi.2019.101943
- Danquah, M. K., & Jeevanandam, J. (2022). Future of nanoparticles, nanomaterials, and nanomedicines in diabetes treatment. En M. K. Danquah & J. Jeevanandam (Eds.), *Emerging Nanomedicines for Diabetes Mellitus Theranostics* (pp. 247-260). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85396-5.00013-0
- Devasahayam, S. (2019). Chapter 17 Nanotechnology and Nanomedicine in Market: A Global Perspective on Regulatory Issues. En S. S. Mohapatra, S. Ranjan, N. Dasgupta, R. K. Mishra, & S. Thomas (Eds.), *Characterization and Biology of Nanomaterials for Drug Delivery* (pp. 477-522). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814031-4.00017-9
- Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en educación médica*, 2(7), 162-167.
- Dündar, M., Mechler, A., Alcaraz, J., Henehan, G., Prakash, S., Lal, R., & Martin, D. (2020). Reflections on Emerging Technologies in Nanomedicine. *ERCİYES MEDICAL JOURNAL*, 42(4), 370-379. https://doi.org/10.14744/etd.2020.68542
- Facciolà, A., Visalli, G., Laganà, P., La Fauci, V., Squeri, R., Pellicanò, G. F., Nunnari, G., Trovato, M., & Di Pietro, A. (2019). The new era of vaccines: The «nanovaccinology». *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 23(16), 7163-7182. https://doi.org/10.26355/eurrev\_201908\_18763
- Graur, F., Elisei, R., Szasz, A., Neagos, H. C., Muresan, A., Furcea, L., Neagoe, I., Braicu, C., Katona, G., & Diudea, M. (2011). Ethical Issues in Nanomedicine. En S. Vlad & R. V. Ciupa (Eds.), *International Conference on Advancements of Medicine and Health Care through Technology* (pp. 9-12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-22586-4\_3
- Hainfeld, J. F., Slatkin, D. N., Focella, T. M., & Smilowitz, H. M. (2006). Gold nanoparticles: A new X-ray contrast agent. *The British Journal of Radiology*, 79(939), 248-253. https://doi.org/10.1259/bjr/13169882
- Halwani, A. A. (2022). Development of Pharmaceutical Nanomedicines: From the Bench to the Market. *Pharmaceutics*, *14*(1), Art. 1. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14010106
- Haume, K., Rosa, S., Grellet, S., Śmiałek, M. A., Butterworth, K. T., Solov'yov, A. V., Prise, K. M., Golding, J., & Mason, N. J. (2016). Gold nanoparticles for cancer radiotherapy: A review. *Cancer Nanotechnology*, 7(1), 8. https://doi.org/10.1186/s12645-016-0021-x
- Huang, X., Zhu, Y., & Kianfar, E. (2021). Nano Biosensors: Properties, applications and electrochemical techniques. *Journal of Materials Research and Technology*, *12*, 1649-1672. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.048
- INEGI. (2021). Características de las defunciones registradas en México durante 2020. Comunicado de prensa núm. 592/21.

- https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemo/D efuncionesRegistradas2020preliminar.pdf
- Invernizzi, N., Foladori, G., Robles-Belmont, E., Záyago Lau, E., Figueroa, E. A., Bagattolli, C., Carrozza, T. J., Chiancone, A., & Urquijo, W. (2015). Nanotechnology for social needs: Contributions from Latin American research in the areas of health, energy and water. *Journal of Nanoparticle Research*, *17*(5), 233. https://doi.org/10.1007/s11051-015-3037-y
- Jain, K. K. (2017). Introduction. En K. K. Jain (Ed.), *The Handbook of Nanomedicine* (pp. 1-9). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6966-1\_1
- Kad, A., Pundir, A., Arya, S. K., Bhardwaj, N., & Khatri, M. (2022). An Elucidative Review to Analytically Sieve the Viability of Nanomedicine Market. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, *17*(1), 249-265. https://doi.org/10.1007/s12247-020-09495-5
- Kalra, J., Krishna, V., Reddy, B. S. V., Dhar, A., Venuganti, V. V. K., & Bhat, A. (2021). 10—Nanoparticles in medical imaging. En S. C. B. Gopinath & F. Gang (Eds.), Nanoparticles in Analytical and Medical Devices (pp. 175-210). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821163-2.00010-8
- Karandikar, S., Mirani, A., Waybhase, V., Patravale, V. B., & Patankar, S. (2017). Chapter 10—Nanovaccines for oral delivery-formulation strategies and challenges. En E. Andronescu & A. M. Grumezescu (Eds.), *Nanostructures for Oral Medicine* (pp. 263-293). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-47720-8.00011-0
- Katari, R., Peloso, A., & Orlando, G. (2015). Tissue Engineering and Regenerative Medicine: Semantic Considerations for an Evolving Paradigm. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2014.00057
- Kim, E.-S., Ahn, E. H., Dvir, T., & Kim, D.-H. (2014). Emerging nanotechnology approaches in tissue engineering and regenerative medicine. *International Journal of Nanomedicine*, *9*(Supplement 1), 1-5. https://doi.org/10.2147/IJN.S61212
- Krukemeyer, M. G., Krenn, V., Huebner, F., Wagner, W., & Resch, R. (2015). History and Possible Uses of Nanomedicine Based on Nanoparticles and Nanotechnological Progress. *Journal of Nanomedicine & Nanotechnology*, 6, 1-7.
- Kumar, S., Ahlawat, W., Kumar, R., & Dilbaghi, N. (2015). Graphene, carbon nanotubes, zinc oxide and gold as elite nanomaterials for fabrication of biosensors for healthcare. *Biosensors and Bioelectronics*, 70, 498-503. https://doi.org/10.1016/j.bios.2015.03.062
- Lemine, O. M. (2019). Chapter 7—Magnetic Hyperthermia Therapy Using Hybrid Magnetic Nanostructures. En R. Ashok Bohara & N. Thorat (Eds.), *Hybrid Nanostructures for Cancer Theranostics* (pp. 125-138). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813906-6.00007-X
- Li, J., Cai, C., Li, J., Li, J., Li, J., Sun, T., Wang, L., Wu, H., & Yu, G. (2018). Chitosan-Based Nanomaterials for Drug Delivery. *Molecules: A Journal of Synthetic*

- Chemistry and Natural Product Chemistry, 23(10), 2661. https://doi.org/10.3390/molecules23102661
- Lin, C., Gao, H., & Ouyang, L. (2021). Advance cardiac nanomedicine by targeting the pathophysiological characteristics of heart failure. *Journal of Controlled Release*, 337, 494-504. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.08.002
- Liu, C., & Zhang, N. (2011). Chapter 13 Nanoparticles in Gene Therapy: Principles, Prospects, and Challenges. En A. Villaverde (Ed.), *Progress in Molecular Biology and Translational Science* (Vol. 104, pp. 509-562). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416020-0.00013-9
- Martinez-Fong, D., Bannon, M. J., Trudeau, L.-E., Gonzalez-Barrios, J. A., Arango-Rodriguez, M. L., Hernandez-Chan, N. G., Reyes-Corona, D., Armendáriz-Borunda, J., & Navarro-Quiroga, I. (2012). NTS-Polyplex: A potential nanocarrier for neurotrophic therapy of Parkinson's disease. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 8(7), 1052-1069. https://doi.org/10.1016/j.nano.2012.02.009
- Martins, J. P., das Neves, J., de la Fuente, M., Celia, C., Florindo, H., Günday-Türeli, N., Popat, A., Santos, J. L., Sousa, F., Schmid, R., Wolfram, J., Sarmento, B., & Santos, H. A. (2020). The solid progress of nanomedicine. *Drug Delivery and Translational Research*, 10(3), 726-729. https://doi.org/10.1007/s13346-020-00743-2
- Massaro, S., & Lorenzoni, G. (2021). Nanomedicine: A socio-technical system. *Technological Forecasting and Social Change*, *173*, 121066. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121066
- Nance, E. (2019). Careers in nanomedicine and drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 144, 180-189. https://doi.org/10.1016/j.addr.2019.06.009
- Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., Sajjadi, M., & Issaabadi, Z. (2019). Chapter 1—An Introduction to Nanotechnology. En M. Nasrollahzadeh, S. M. Sajadi, M. Sajjadi, Z. Issaabadi, & M. Atarod (Eds.), *Interface Science and Technology* (Vol. 28, pp. 1-27). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8
- Nature Nanotechnology. (2020). Nanomedicine and the COVID-19 vaccines. *Nature Nanotechnology*, *15*(12), Art. 12. https://doi.org/10.1038/s41565-020-00820-0
- NIH Library. (2019). Cleaning Data with OpenRefine. https://www.nihlibrary.nih.gov/services/bibliometrics/bibliometrics-training-series/cleaning-data-openrefine
- Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión. (2019). Nanomedicina. https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU\_19-032.pdf
- Oliffe, J. L., Kelly, M. T., Gonzalez Montaner, G., & Yu Ko, W. F. (2021). Zoom Interviews: Benefits and Concessions. *International Journal of Qualitative Methods*, 20, 16094069211053522. https://doi.org/10.1177/16094069211053522
- Pallotta, A., Clarot, I., Sobocinski, J., Fattal, E., & Boudier, A. (2019). Nanotechnologies for Medical Devices: Potentialities and Risks. *ACS Applied Bio Materials*, 2(1), 1-13. https://doi.org/10.1021/acsabm.8b00612

- Park, K. (2019). The beginning of the end of the nanomedicine hype. *Journal of Controlled Release*, 305, 221-222. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2019.05.044
- Patel, J. K., Patel, A., & Bhatia, D. (2021). Introduction to Nanomaterials and Nanotechnology. En J. K. Patel & Y. V. Pathak (Eds.), *Emerging Technologies for Nanoparticle Manufacturing* (pp. 3-23). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50703-9\_1
- Quirós Pesudo, L., Balahur, A., Gottardo, S., Rasmussen, K., Wagner, G., Joanny, G., & Bremer-Hoffmann, S. (2018). *Mapping nanomedicine terminology in the regulatory landscape*. Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2760/753829
- Rahim, M. M. (2019). Nanomedicine regulation in Australia. *Alternative Law Journal*, 44(2), 133-137. https://doi.org/10.1177/1037969X18815737
- Riehemann, K., Schneider, S. W., Luger, T. A., Godin, B., Ferrari, M., & Fuchs, H. (2009). Nanomedicine—Challenge and Perspectives. *Angewandte Chemie International Edition*, 48(5), 872-897. https://doi.org/10.1002/anie.200802585
- Rivera, E. (2021, marzo 12). Lidera UANL patentes en México. *El Financiero*. https://www.elfinanciero.com.mx/monterrey/lidera-uanl-patentes-en-mexico/
- Robles-Belmont, E. (2014). Cooperación científica internacional en la nanomedicina de México. *Observatorio del Desarrollo. Investigación, reflexión y análisis*, *3*(12). https://doi.org/10.35533/od.0312.erb
- Robles-Belmont, E., Gortari-Rabiela, R. de, Galarza-Barrios, P., Siqueiros-García, J. M., & Ruiz-León, A. A. (2017). Visualizando el desarrollo de la nanomedicina en México. *Gaceta Medica De Mexico*, *153*(7), 875-885. https://doi.org/10.24875/GMM.17002851
- Rodríguez Cañedo, V. (2020). *Impacto de políticas de innovación en el modelo de la triple hélice, análisis de los proyectos de diseño de la UANL* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. https://eprints.uanl.mx/19709/
- Rosales-Mendoza, S., & González-Ortega, O. (2019). Nanovaccines and the History of Vaccinology. En S. Rosales-Mendoza & O. González-Ortega (Eds.), *Nanovaccines: An Innovative Technology to Fight Human and Animal Diseases* (pp. 1-14). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31668-6\_1
- Røttingen, J.-A., Regmi, S., Eide, M., Young, A. J., Viergever, R. F., Ardal, C., Guzman, J., Edwards, D., Matlin, S. A., & Terry, R. F. (2013). Mapping of available health research and development data: What's there, what's missing, and what role is there for a global observatory? *Lancet (London, England)*, 382(9900), Art. 9900. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61046-6
- Sampedro-Hernández, J. L., Ortega Peralta, D., & Torres Vargas, A. (2020). Arreglos institucionales y movilización del conocimiento en el campo emergente de la nanomedicina catalítica. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 8(22), Art. 22. http://dx.doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.72791

- Sargent, J. F. (2014). *The National Nanotechnology Initiative: Overview, Reauthorization, and Appropriations Issues* (United States). Congressional Research Service.
- Soto Vázquez, R., Záyago Lau, E., & Maldonado López, L. A. (2022a). Gobernanza de la nanomedicina: Una revisión sistemática. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, *15*(28), Art. 28. https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69682
- Soto Vázquez, R., Záyago Lau, E., & Maldonado López, L. A. (2022b). Nanomedicina para enfrentar la pandemia de COVID-19: Un análisis bibliométrico de las publicaciones de Web of Science con la herramienta Bibliometrix de R. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 33, Art. 0. http://rcics.sld.cu/index.php/acimed/article/view/1880
- Sun, B., & Xia, T. (2016). Nanomaterial-Based Vaccine Adjuvants. *Journal of materials chemistry*. *B*, 4(33), 5496-5509. https://doi.org/10.1039/C6TB01131D
- Thirugnanasambandan, T. (2021). 8—Nanoparticles for biomedical imaging advancements. En S. C. B. Gopinath & F. Gang (Eds.), *Nanoparticles in Analytical and Medical Devices* (pp. 127-154). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821163-2.00008-X
- UANL. (s. f.). *Centro de Incubación de Empresas y Transferencia de Tecnología (CIETT)*. Recuperado 5 de enero de 2023, de https://www.uanl.mx/centros\_inv/centro-de-incubacion-de-empresas-y-transferencia-de-tecnologia-ciett
- UANL. (2022, febrero 17). Destaca UANL en invenciones a nivel nacional. *Vida Universitaria Universidad Autónoma de Nuevo León*. https://vidauniversitaria.uanl.mx/campus-uanl/destaca-uanl-en-invenciones-a-nivel-nacional/
- Van Bewer, V. (2017). Transdisciplinarity in Health Care: A Concept Analysis. *Nursing Forum*, 52(4), 339-347. https://doi.org/10.1111/nuf.12200
- Wagner, V., Dullaart, A., Bock, A.-K., & Zweck, A. (2006). The emerging nanomedicine landscape. *Nature Biotechnology*, 24(10), 1211-1217. https://doi.org/10.1038/nbt1006-1211
- Wagner, V., Hüsing, B., Gaisser, S., & Bock, A.-K. (2008). *Nanomedicine: Drivers for development and possible impacts*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies.
- White, M. C., Randall, K., Avara, E., Mullis, J., Parker, G., & Shrime, M. G. (2018). Clinical Outcome, Social Impact and Patient Expectation: A Purposive Sampling Pilot Evaluation of Patients in Benin Seven Years After Surgery. *World Journal of Surgery*, 42(5), 1254-1261. https://doi.org/10.1007/s00268-017-4296-9
- Whitehead, D., & Whitehead, L. (2016). Sampling data and data collection in qualitative research. *Nursing and Midwifery Research: methods and appraisal for evidence-based practice*. https://ro.ecu.edu.au/ecuworkspost2013/1555
- Woodson, T. S. (2012). Research Inequality in Nanomedicine. *Journal of Business Chemistry*, 9(3), 133-146.

- Woodson, T. S. (2016). Public private partnerships and emerging technologies: A look at nanomedicine for diseases of poverty. *Research Policy*, *45*(7), 1410-1418. https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.04.005
- Wu, L.-P., Wang, D., & Li, Z. (2020). Grand challenges in nanomedicine. *Materials Science and Engineering: C*, 106, 110302. https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110302
- Younis, M. A., Tawfeek, H. M., Abdellatif, A. A. H., Abdel-Aleem, J. A., & Harashima, H. (2022). Clinical translation of nanomedicines: Challenges, opportunities, and keys. *Advanced Drug Delivery Reviews*, *181*, 114083. https://doi.org/10.1016/j.addr.2021.114083
- Záyago Lau, E. (2011). Nanotech Cluster in Nuevo Leon, Mexico: Reflections on Its Social Significance. *Nanotechnology Law & Business*, 8, 49.
- Záyago Lau, E., León Silva, S., & Soto Vázquez, R. (2021). Nanotechnology and Covid: Technical Solutions in the Hunt for Inequality. En *Impacts of COVID-19 on Societies and Economies*.
- Zhen, X., Cheng, P., & Pu, K. (2019). Recent Advances in Cell Membrane—Camouflaged Nanoparticles for Cancer Phototherapy. *Small*, *15*(1), 1804105. https://doi.org/10.1002/smll.201804105
- Zhu, J., & Liu, W. (2020). A tale of two databases: The use of Web of Science and Scopus in academic papers. *Scientometrics*, 123(1), 321-335. https://doi.org/10.1007/s11192-020-03387-8

#### 7. ANEXOS

#### Anexo 1: Carta de consentimiento informado para las entrevistas



#### Programa de Doctorado Transdiciplinario en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad





#### CONSENTIMIENTO INFORMADO

El presente es un consentimiento informado para participar en las entrevistas que llevará a cabo el estudiante Roberto Soto Vázquez, las cuales forman parte del proyecto de tesis "Análisis de la Investigación y Desarrollo de la Nanomedicina en México". El objetivo de estas entrevistas es conocer el punto de vista de los entrevistados respecto a los desafíos que enfrenta la nanomedicina en México.

Yo, **Dr.** / **Dra.** XXX-XXX, otorgo mi consentimiento para ser entrevistado, comprendiendo y aceptando los siguientes términos:

- a) Mi participación en la entrevista es totalmente voluntaria.
- b) La entrevista se llevará a cabo vía Zoom y tendrá una duración aproximada de 20 minutos.
- c) Mis respuestas serán tratadas de manera confidencial y anónima. No se me identificará por mi nombre en ningún informe que se derive de esta entrevista, por lo que mi identidad estará totalmente protegida.
- d) Puedo optar por no responder preguntas que me hagan sentir incómodo.
- e) Puedo detener la entrevista en cualquier momento que yo así lo decida.
- f) La entrevista será grabada únicamente para poder transcribir y analizar la información.
- g) La grabación de la entrevista no será difundida ni utilizada para otros fines ajenos a la investigación.
- h) Puedo pedir que se detenga la grabación de la entrevista en secciones particulares.
- No recibiré ninguna compensación económica a cambio de mi participación en esta entrevista.

Dr. / Dra. XXX-XXX-XXX	Fecha	
M. en C. Roberto Soto Vázquez (Entrevistador)		

#### Anexo 2: Guion de las entrevistas semiestructuradas

#### INFORMACIÓN GENERAL DEL ENTREVISTADO

- Nombre
- Institución / empresa
- Puesto / cargo actual
- Formación académica
- ¿De qué manera su trabajo se relaciona con la nanomedicina?

#### A) INVESTIGACIÓN Y FINANCIAMIENTO

- 1. ¿Cuáles son sus líneas de investigación? ¿por qué decidió trabajar en estos temas?
- 2. ¿Cuáles son las fuentes de financiamiento para sus proyectos de investigación?
- 3. ¿Colabora usted otros con investigadores? ¿De qué departamentos e instituciones son sus colaboradores?
- 4. ¿Ha colaborado con instituciones del sector salud o empresas? ¿cuáles han sido los resultados de estas colaboraciones?

#### C) PATENTAMIENTO Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

5. ¿Usted o su grupo de investigación han patentado algún desarrollo tecnológico que esté relacionado con la nanomedicina?

En caso de respuesta afirmativa:

- ¿Qué invención patentó?
- ¿Qué lo motivó a patentar?
- ¿Su patente está siendo explotada actualmente? ¿qué beneficios ha obtenido de ella?
- ¿Qué dificultades enfrentó durante el proceso de patentamiento?
- 6. ¿Su institución ofrece incentivos para el patentamiento?
- 7. ¿En su institución existe alguna dependencia que apoye la transferencia de tecnología y el patentamiento? ¿ha recurrido a los servicios de estas dependencias? ¿cuál ha sido su experiencia en este sentido?
- 8. Además de patentes ¿usted ha usado alguna otra figura de protección industrial (¿modelo de utilidad, marca, secreto industrial, etc.)? ¿cuál ha sido su experiencia?

#### D) BENEFICIO SOCIAL DE LA I+D

- 9. ¿Qué grupo de la población considera usted que se ve más beneficiado con el trabajo de investigación y/o desarrollo que usted realiza?
- 10. Desde su punto de vista ¿cuáles son las enfermedades o padecimientos en los que se tendría que enfocar la nanomedicina en México y por qué?

11. ¿Los resultados de su trabajo de investigación han beneficiado a pacientes y/o médicos? En caso de ser así ¿de qué manera?

#### E) RIESGOS DE LOS NANOMATERIALES EN LA SALUD

- 12. Usted ha hablado anteriormente sobre los beneficios de la nanomedicina, pero ¿qué tan seguro es el uso de nanomateriales en el cuerpo humano? ¿existen riesgos? En caso de que estos existan ¿de qué manera se pueden abordar?
- 13. ¿Usted o su grupo de investigación han realizado estudios toxicológicos de los nanomateriales con los que trabajan?

#### F) EMPRENDIMIENTO EN EL SECTOR NANOMÉDICO

14. ¿Usted o su grupo de investigación han creado empresas relacionadas con nanomedicina?

En caso de respuesta afirmativa:

- ¿Qué productos comercializa su empresa?
- ¿Qué problema o necesidad satisfacen sus productos? ¿A qué grupo de la población van dirigidos?
- ¿Cómo ha sido la aceptación de sus productos por parte de los clientes?
- ¿Cuáles han sido las mayores dificultades que ha enfrentado como empresario del sector nanomédico?

#### G) DESAFÍOS DE LA NANOMEDICINA EN MÉXICO Y PERSPECTIVAS A FUTURO

- 15. ¿Cuáles son los desafíos que enfrenta actualmente la nanomedicina en México?
- 16. ¿Qué estrategias propondría para hacer frente a estos desafíos?
- 17. ¿Cómo ve el desarrollo de la nanomedicina en los próximos diez años?

Anexo 3: Cuerpos académicos del PRODEP de nanomedicina

Institución	Nombre del cuerpo académico (CA)	Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)	Descripción de las LGAC	Miembros del CA
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	BUAP-CA-246 - Nanomedicina- Nanotecnología en Medicina, Biología y Ciencias de la Vida.	NanoBio <b>NanoMed</b> - Nanotecnología en Biología, Medicina y Ciencias de la Vida	Se tiene como objetivo una colaboración amplia con la Facultad de Medicina implicando aplicaciones de nanopartículas funcionales en el tratamiento de ciertas enfermedades. Estudiamos con la colaboración de investigadores alemanes la creación de un páncreas artificial. Entre otras actividades más. Se refiere a la elaboración del proyecto Nano-BUAP y proyectos en la mira con Conacyt y con el Instituto Nacional de Cancerología (INCAN); la aplicación de conocimientos del área se dirige a la generación de idesas patentables. Durante los últimos dos años se generó dos patentes con registro.	- AZUCENA COYOTÉCATL HONORATO - MOLINA FLORES ESTEBAN - RAMÍREZ SOLÍS BLANCA ARACELI LIDER DE CA
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	BUAP-CA-301 - Análisis Clínicos y Nanotecnología Aplicada	Síntesis y evaluación de nanomateriales	Síntesis de nanomateriales acoplados a extractos de plantas y fármacos para el tratamiento de enfermedades metabólicas y retraso del envejecimiento.	- DÍAZ FONSECA ALFONSO DANIEL LIDER DE CA - MORENO RODRÍGUEZ JOSÉ ALBINO - TREVIÑO MORA SAMUEL - VÁZQUEZ ROQUE RUBÉN ANTONIO
Instituto Tecnológico de Celaya	ITCEL-CA-23 - Biopolímeros, Nanomateriales y Biotecnología (BNB)	Desarrollo y caracterización de bio y nano-materiales	En esta línea incluimos la síntesis de nanopartículas metálicas soportadas en óxidos para atacar enfermedades emergentes. Desarrollo de recubrimientos híbridos por diversos métodos (inmersión, electrodeposición) para modificar superficies de biomateriales como en el caso de implantes ortopédicos para mejorar su resistencia al desgaste. Nanofibras de biopolímeros para aplicaciones biomédicas. La caracterización de éstos materiales incluye difracción de rayos x, microscopía, espectroscopia Raman y de infrarrojo, tribometría, citotoxicidad, ensayos mecánicos, espectroscopia de impedancia eléctrica.	- FLORES FLORES TERESA DEL CARMEN - LOUVIER HERNÁNDEZ JOSE FRANCISCO LIDER DE CA - PATIÑO HERRERA ROSALBA - PÉREZ NÚÑEZ FLORENCIO JAVIER

Institución	Nombre del cuerpo académico (CA)	Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)	Descripción de las LGAC	Miembros del CA
Instituto Tecnológico de Oaxaca	ITOAX-CA-4 - BIOQUÍMICA Y MATERIALES NANOESTRUCTURADOS	Nanobioquímica	La línea de Nanobioquímica surge del interés en desarrollar proyectos de investigación que interconecten la nanotecnología y la bioquímica en la identificación de agentes causantes de enfermedades, los determinantes antigénicos que las causan, y los glicoconjugados que participan, ya que con frecuencia no pueden ser determinados con precisión por la falta de pruebas de diagnóstico específicas y sensibles. Con lo anterior, se requiere el desarrollo de materiales nanoestructurados y agentes conjugados con ligandos muy específicos que permita la elaboración de pruebas de detección sensibles y que puedan eliminar el uso de reactivos costosos. En este contexto, se proponen la utilización de nuevos materiales como nanotubos de carbono, dendrímeros o nanopartículas metálicas con propiedades superficiales y electrónicas únicas), y la miniaturización o aplicación de nanotecnología.	- DIAZ BARRITA AYMARA JUDITH - GARCIA MONTALVO IVAN ANTONIO - GIL GALLEGOS MARIA DE JESUS - PEREZ SANTIAGO ALMA DOLORES LIDER DE CA - SÁNCHEZ MEDINA MARCO ANTONIO
Instituto Tecnológico de Tijuana	ITTIJ-CA-4 - Quimica Aplicada	Quimica Aplicada a problemas de la salud	En esta línea se aplica la química de síntesis para la preparación de materiales poliméricos inteligentes (con sensibilidad y respuesta predecible) en forma de películas, cápsulas y redes con dimensiones nanométricas o con nanoestructuración controlada sobre superficies y se evalúa su aplicación potencial en ciencias biomédicas con énfasis en problemas de salud de alto impacto regional.	- CORTEZ LEMUS NORMA AIDE - FELIX NAVARRO ROSA MARIA - LICEA CLAVERIE ANGEL LIDER DE CA - LIN HO SHUI WAI - PEREZ SICAIROS SERGIO - REYNOSO SOTO EDGAR ALONSO - SALAZAR GASTELUM MOISES ISRAEL - TRUJILLO NAVARRETE BALTER - ZIZUMBO LOPEZ ARTURO
Instituto Tecnológico de Villahermosa	ITVIHE-CA-3 - NANOBIOTECNOLOGÍA	Materiales y nanotecnología	Diseñar y sintetizar materiales a escala nanométrica, para aplicaciones en medicina (Actividad antimicrobiana), en bioprocesos y análisis de alimentos (Detección de patógenos, metabolitos tóxicos como mico y ocra toxinas) y catálisis ambiental (Producción de biocombustibles a partir de biomasa, tratamientos no convencionales de compuestos orgánicos refractarios).	- GUERRA QUE ZENAIDA LIDER DE CA - HERNANDEZ VELEZ ROSA MARGARITA - URRIETA SALTIJERAL JUAN
Instituto Tecnológico de Zacatepec	ITZCTC-CA-9 - Diseño y caracterización de nano materiales	Biomateriales Poliméricos	Diseño y caracterización de nano compositos con nano partículas para aplicaciones en el cuidado del medio ambiente y salud y energías alternas. Nano materiales para aplicación biomédica. Propiedades eléctricas, dieléctricas y mecánicas de nano materiales para aplicación en la ingeniería de tejido óseo, corrosión, recubrimientos. Caracterización estructural de compositos polímeros/biopolímeros para aplicación en ingeniería. ocesamiento y caracterización de nano materiales con nano partículas Síntesis y caracterización de nano partículas. Estudio y desarrollo de materiales biodegradables usando diferentes polímeros orgánicos con nano o micropartículas.	- GRANADOS BAEZA MANUEL JESUS - MORENO CARPINTERO ENRIQUE DE JESUS - OLARTE PAREDES ALFREDO LIDER DE CA - SALGADO DELGADO RENE

Institución	Nombre del cuerpo académico (CA)	Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)	Descripción de las LGAC	Miembros del CA
		Diseño Mecánico y Materiales	Desarrollo de nano materiales (inhibidores de la corrosión) capaces de responder ante un estímulo externo, contrarrestando los efectos perjudiciales que este cambio produce en el material. Propiedades eléctricas, dieléctricas y mecánicas de nano materiales para aplicación en la ingeniería de tejido óseo, corrosión, recubrimientos. Diseño de equipo para auto instrumentación en la caracterización de materiales. Generación de Nano materiales para recubrimientos en metales.	
Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán	ITESTEZ-CA-10 - NANOMATERIALES Y SUS POTENCIALES APLICACIONES	Desarrollo de nanomateriales avanzados para sus potenciales aplicaciones en el área biomédica y de energías	Sintetizar y estudiar las propiedades de <b>nanomateriales avanzados para evaluar su potencial aplicación en las áreas de biomedicina</b> y energías.	- GOMEZ RODRIGUEZ BLANCA AZUCENA LIDER DE CA - PEREZ CARO MANUEL - RIVERA FLORES JORGE
Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco	ITSTLAX-CA-3 - MATERIALES NANOESTRUCTURADOS, DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN	NANOMATERIALES	Esta línea de investigación está orientada a la síntesis, caracterización y determinación de propiedades físicas y químicas de nanoestructuras y, tiene como objetivo primordial: 1) la investigación de propiedades ópticasy electrónicas de materiales nanoestructurados. en particular, la respuesta óptica, actividad antibacterial y catálitica, efectos de superficie y liberación de fármacos en nanoestructuras metálicas y oxídos semiconductores así como el modelaje de nanoestructuras finitas.	- DIAZ MONGE FERNANDO LIDER DE CA - FLORES LARA HONORIO - RAMÍREZ MARTÍNEZ MARÍA ARIADNA - RODRIGUEZ JUAREZ ALEJANDRO - ROMERO MONTIEL VERÓNICA
Universidad Autónoma de Baja California	UABC-CA-151 - QUÍMICA APLICADA	Caracterización in vitro e in vivo de Biomateriales	Implementar, estandarizar y evaluar la citotoxicidad de los biomateriales cerámicos nanoestructurados mediante métodos de cultivo celulares (reducción de MTT, incorporación de Rojo Neutro, ensayo de Bradford y crecimiento celular) para las pruebas de Biocompatibilidad "vitro" así como el de realizar ensayos de la viabilidad celular bacteriana de enterobacterias, estafilococos por citar los principales sin descartar incluir otro tipo de microorganismos que permitan evaluar sus propiedades bactericidas y dirigir su aplicación a ciencias de la salud como biomateriales.	- DÍAZ TRUJILLO GERARDO CÉSAR - GONZALEZ TORRES VERONICA - MIER MALDONADO PARÍS ASTRID - ROSALES AGUILAR MARTHA LIDER DE CA - SÁNCHEZ DÍAZ MARÍA DE LOS REMEDIOS
Universidad Autónoma de Baja California	UABC-CA-339 - Bionanomedicina	Bionanomedicina	La LGAC aborda desde una perspectiva multi, inter y transdisciplinaria la generación de nuevas estrategias que contribuyan a la solución y prevención de problemas de salud de importancia nacional e internacional. Dichas estrategias involucran el diseño, desarrollo, evaluación, aplicación y determinación de la seguridad ambiental de potenciales agentes quimioterapéuticos, para el tratamiento y diagnóstico de enfermedades.	- CASILLAS FIGUEROA FRANCISCO - GARCÍA RAMOS JUAN CARLOS LIDER DE CA - RADILLA CHÁVEZ PATRICIA - TOLEDANO MAGAÑA YANIS

Institución	Nombre del cuerpo académico (CA)	Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)	Descripción de las LGAC	Miembros del CA
Universidad Autónoma de Baja California	UABC-CA-87 - CORROSIÓN Y MATERIALES	Bionanotecnología	Investigación básica y aplicada de <b>materiales avanzados nanoestructurados</b> que son sintetizados mediante rutas verdes, aplicados en sistemas biológicos como tejidos vegetales, animales y humanos. Diseño y fabricación de biosensores y <b>aplicaciones médicas</b> .	- BELTRÁN PARTIDA ERNESTO ALONSO - CURIEL ALVAREZ MARIO ALBERTO - KOYTCHEV ZLATEV ROUMEN - MATEOS ANZALDO FRANCISCO DAVID - NEDEV NICOLA RADNEV - RAMOS IRIGOYEN ROGELIO ARTURO ABRAHAM JOSE MARIA - STILIANOVA STOYTCHEVA ZLATEVA MARGARITA - VALDEZ SALAS BENJAMÍN LIDER DE CA
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	UACJ-CA-100 - Ingeniería Aplicada y Tecnología de Materiales	Innovación e Ingeniería de Materiales: Materiales Moleculares, <b>Biomateriales y</b> <b>Nanomateriales</b>	Manipulación de las propiedades físicas y químicas de materiales moleculares, <b>biomateriales y nanomateriales</b> para aplicaciones tecnológicas.	CALDIÑO HERRERA UZZIEL LIDER DE CA - CARRILLO PEREYRA FRANCISCO - CORNEJO MONROY DELFINO - DÁVALOS RAMÍREZ JOSÉ OMAR - LIRA MARTÍNEZ MANUEL ALEJANDRO - TILVALDYEV SHEHRET ABDULKADYROVICH - VILLANUEVA MONTELLANO ALFREDO
Universidad Autónoma de Coahuila	UACOAH-CA-113 - MATERIALES AVANZADOS	Desarrollo, síntesis, funcionalización y/o caracterización de polímeros, biopolímeros, cerámicos, composites, biomateriales y nanomateriales	Esta LGAC pretende explorar el desarrollo de materiales avanzados a escala macro y nanométrica empleando técnicas convencionales y/o emergentes tales como la funcionalización y caracterización térmica, espectroscópica, química y estructural de materiales obtenidos a partir de polímeros, biopolímeros, cerámicos, composites, biomateriales y nanomateriales, con el propósito de contribuir en la generación de productos con propiedades nuevas que coadyuven a la remediación y bioremediación de contaminantes, aplicaciones en farmacia, medicina y agricultura, creación de tecnologías alternas de almacenamiento de energía, entre otros problemas de importancia para nuestra sociedad actual y el sector productivo.	- CABRERA MUNGUIA DENIS AIDEE - CANO SALAZAR LUCIA FABIOLA - CLAUDIO RIZO JESÚS ALEJANDRO - FLORES GUIA TIRSO EMMANUEL - LARA CENICEROS ANA CLAUDIA LIDER DE CA - VEGA SÁNCHEZ PATRICIA
Universidad Autónoma de Coahuila	UACOAH-CA-91 - Nanobiociencia	ESTUDIOS BIOQUÍMICOS, QUÍMICOS Y MOLECULARES DE PROCESOS MICRO Y NANOESTRUCTURADOS, ENFOCADOS A LAS APLICACIONES DE LOS SISTEMAS BIOQUÍMICOS CELULARES Y SUBCELULARES Y	Promover la investigación interdisciplinaria entre las ciencias de materiales, biotecnología, bioilogía molecular y <b>medicina</b> , desde una perspectiva que integra los aspectos básicos y <b>aplicaciones clínicas</b> e industriales, sus alcances abarcan la investigación de la estructura y función molecular, celular y subcelular mediante micro y <b>nanotecnologías</b> y el desarrollo de los sistemas, para integrar la detección y la manipulación a escala molecular y celular.	- ARREDONDO VALDES ROBERTO - CHÁVEZ GONZÁLEZ MÓNICA LIZETH - GOVEA SALAS MAYELA - ILINA ANNA LIDER DE CA - MARTÍNEZ HERNÁNDEZ JOSÉ LUIS - SEGURA CENICEROS ELDA PATRICIA

Institución	Nombre del cuerpo académico (CA)	Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)	Descripción de las LGAC	Miembros del CA
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-180 - QUÍMICA BIOLÓGICA	MATERIALES FUNCIONALIZADOS.  Nanotecnología Aplicada a las Ciencias Biológicas y de la Salud	La línea de investigación está enfocada al diseño, desarrollo y evaluación biológica in vitro e in vivo de formulaciones de nanopartículas cargadas con agentes que presentan una actividad biológica específica (i.e. fármacos, nutrientes, extractos	- CHÁVEZ MONTES ABELARDO - GALINDO RODRÍGUEZ SERGIO ARTURO LIDER DE CA - LEOS RIVAS CATALINA - OUNTANILLA LICEA RAMIRO
			vegetales, aceites esenciales, insecticidas, antioxidantes).	- RIVAS MORALES CATALINA - RODRÍGUEZ ARZAVE JUAN ANTONIO - SANCHEZ GARCIA EDUARDO - VERDE STAR MARÍA JULIA - VIVEROS VALDEZ JOSE EZEQUIEL

Institución	Nombre del cuerpo académico (CA)	Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)	Descripción de las LGAC	Miembros del CA
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-123 - BIOQUÍMICA Y MEDICINA MOLECULAR	Biomedicina Molecular Traslacional	Es una disciplina derivada de la Medicina Molecular cuyo objetivo es trasladar de manera eficiente los avances de la investigación biomédica básica a las aplicaciones clínicas. Como ejemplo tenemos el uso de nuevos métodos de diagnostico y seguimiento de enfermedades a través de marcadores moleculares; procedimientos médicos innovadores como aquellos de trasplantes de tejidos genéticamente modificados o nanomedicina, nuevas terapias del tipo celulares y géneticas y novedosos métodos de regeneración d etejidos entre otros. Esta disciplina tiene además en conjunto con otras disciplinas, la capacidad de generar conocimiento de manera directa a partir de bases de datos, muestras clínicas de pacientes para analizar factores de riesgo y descubrir y clasificar nuevos agentes causantes de enfermedades, definir nuevos eventos fisiopatologogicos, evaluar y actualizar procedimientos diagnósticos dinámicos y los regímenes terapéticos en enfermedades especificas. Por razones anteriores, se ha generalizado el uso y desarrollo de esta nueva disciplina que incluye el lema: "Del laboratorio a la cabecera del paciente y de la cabecera del paciente al laboratorio". La medicina Traslacional es necesariamente multidisciplinaria y para sus enfoques innovadores se requiere el manejo de grandes bases de datos que provienen de análisis integrales de los sujetos de estudio, implicando áreas como las matemáticas, las ciencias genómicas, la física, la quimica, la bioinformatica y muchas otras disciplinas.	- CAMACHO MORALES ALBERTO - CORDOVA FLETES CARLOS - PÉREZ MAYA ANTONIO ALÍ - RIVAS ESTILLA ANA MARÍA GUADALUPE LIDER DE CA - SANCHEZ DOMINGUEZ CELIA NOHEMI
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-304 - Nanobiotecnología	Nanotecnología y Nanobiotecnología	Diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del <b>control de la materia a nano escala</b> , y la explotación de fenómenos biológicos, microorganismos, <b>enfermedades</b> y propiedades de la materia y los seres vivos a nanoescala.	- ELIZONDO VILLARREAL NORA LIDER DE CA - GARCÍA MENDEZ MANUEL - TORRES LÓPEZ ERNESTO
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-352 - Microbiología Oral	Síntesis y Caracterización de Nuevos Agentes Antimicrobianos de Amplio Espectro, mediante el empleo de técnicas microbiológicas, bioquímicas, biología molecular y bioestadística.	Tiene por objetivo la búsqueda de <b>nuevos agentes antimicrobianos</b> que sean eficaces para inhibir el crecimiento de patógenos multiresistentes y su <b>análisis tanto a nivel básico como clínico</b> . Este CA contempla diferentes LGAC que encausan la búsqueda en diferentes posibles fuentes de nuevos agentes antimicrobianos, incluyendo: genes bacterianos, <b>nanoparticulas con capacidad biosida</b> , agentes mucolíticos y moléculas tanto orgánicas como sintéticas.	- CABRAL ROMERO CLAUDIO LIDER DE CA - HERNÁNDEZ DELGADILLO RENE - MARTINEZ GONZALEZ GUSTAVO ISRAEL

Institución	Nombre del cuerpo académico (CA)	Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)	Descripción de las LGAC	Miembros del CA
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-281 - Ciencia e Ingeniería en Nanoestructuras	Desarrollo de nanoestructuras y materiales nanoestructurados	Línea de investigación relacionada a la síntesis física y química de <b>nanoestructuras</b> con propiedades de interés para posibles aplicaciones en áreas como la electrónica, espintrónica, <b>medicina</b> y biología, entre otras.	- AGUILAR GARIB JUAN ANTONIO - CHÁVEZ GUERRERO LEONARDO - CIENFUEGOS PELAES RENE FABIAN - GARCIA GUTIERREZ DOMINGO IXCOATL LIDER DE CA - GARZA NAVARRO MARCO ANTONIO - LOPEZ PAVON LUIS ALBERTO - LUCIO PORTO RAUL - MORENO CORTEZ IVAN ELEAZAR - SEPULVEDA GUZMÁN SELENE
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-162 - Síntesis y Caracterización de Materiales	NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA	Desarrolo y caracterización de nanomateriales como nanofibras, nanotubos y fullerenos funcionalizados, se trabaja en la obtención y caracterización de <b>materiales nanoestructurados</b> o autonanoestructurados como nanocapas, nanotúneles y nanoporos, así como el desarrollo de sus posibles aplicaciones en áreas como la electrónica, la biología y la <b>medicina</b> .	- GARCÍA LOERA ANTONIO FRANCISCO - GONZALEZ GONZALEZ VIRGILIO ANGEL - GUERRERO SALAZAR CARLOS ALBERTO - LÓPEZ WALLE BEATRIZ CRISTINA - ORTIZ MENDEZ UBALDO LIDER DE CA - REYES MELO MARTÍN EDGAR - TORRES CASTRO ALEJANDRO - VÁZQUEZ RODRÍGUEZ SOFÍA
Universidad Autónoma de Querétaro	UAQ-CA-111 - NANOTECNOLOGÍA	Desarrollo de Materiales Nanoestructurados para Ingeniería Sustentable	Desarrollo de <b>materiales nanoestructurados</b> con aplicaciones en las áreas de energía, ambiente y <b>salud</b> .	- CUAN HERNANDEZ MARIA DE LOS ANGELES - ESQUIVEL ESCALANTE KAREN - GOMEZ HERRERA MARIA LUCERO - LÓPEZ MIRANDA JOSÉ ALONSO - NAVA MENDOZA RUFINO LIDER DE CA - REYES POOL HECTOR PAUL - VELAZQUEZ CASTILLO RODRIGO RAFAEL
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	UASLP-CA-231 - NANOBIOMATERIALES APLICADOS	Nanobiomateriales	Preparación, caracterización, evaluación de la biocompatibilidad y aplicaciones de nanobiomateriales.	- HERNANDEZ MOLINAR YOLANDA - MARTINEZ CASTAÑON GABRIEL ALEJANDRO LIDER DE CA - PATIÑO MARÍN NURIA
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	UASLP-CA-240 - Alimentos, Nutrición y Salud	Nutrición, enfermedades crónicas y biodisponibilidad de componentes dietéticos.	Proyectos y estudios sobre salud y nutrición pediátrica, <b>nutrición en</b> pacientes con enfermedades crónicas y la aplicación de nanotecnología en la absorción de componentes dietéticos.	- ALGARA SUÁREZ PAOLA - GALLEGOS MARTINEZ JOSEFINA - REYES HERNANDEZ JAIME LIDER DE CA

Institución	Nombre del cuerpo académico (CA)	Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)	Descripción de las LGAC	Miembros del CA
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	UASLP-CA-213 - BIOPROCESOS	SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE MACROMOLÉCULAS Y MATERIALES FUNCIONALES	Se centra en la síntesis y caracterización de polimeros, biopolimeros, hidrogeles, materiales nanoestructurados y nanopartículas con propiedades funcionales. Las características particulares de estos materiales se combinan para generar nuevos productos con características únicas, que se puedan aplicar en el desarrollo de biomateriales, sensores, biosensores y materiales de ingeniería. Dentro de las propiedades que se estudian están los fenómenos de nucleación, cristalización y fusión de polímeros semicristalinos, la nanoestructuración de sistemas poliméricos e inorgánicos, las propiedades aplicadas de polimeros, la liberación controlada de fármacos y nutrientes, la funcionalización con moléculas químicas y biológicas para la generación de grupos superficiales de reconocimiento, además de parámetros analíticos como la sensibilidad y la selectividad de los dispositivos diseñados.	- GARCÍA SOTO MARIANO DE JESÚS - GONZÁLEZ ORTEGA OMAR - PALESTINO ESCOBEDO ALMA GABRIELA - PAZ MALDONADO LUZ MARÍA TERESITA - ROSALES MENDOZA SERGIO LIDER DE CA - SORIA GUERRA RUTH ELENA
Universidad Autónoma de Sinaloa	UAS-CA-300 - FÍSICA APLICADA.	Física Aplicada	El objetivo de esta línea es realizar investigación y formación de recursos humanos en temas relacionados con el desarrollo de tecnología aplicada al estudio de fenómenos físicos o a la solución de problemáticas nacionales a través de la física aplicada, una aplicación específica de en el campo de la nanotecnología. En este ámbito, se estudia la fenomenología de la deposición de nanopartículas para diversas aplicaciones: Medicina, Ingeniería de materiales, biotecnología, optoelectrónica, entre otras.	- MORAILA MARTINEZ CARMEN LUCIA - TERAN BOBADILLA EMILIANO - VALENZUELA JIMENEZ VICTOR MANUEL LIDER DE CA
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	UAEH-CA-89 - MATERIALES POLIMÉRICOS Y NANOESTRUCTURADOS	SÍNTESIS, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE POLÍMEROS Y NANOMATERIALES	Diseñar y sintetizar polímeros y <b>nanoestructuras</b> para su aplicación en energías renovables, óptica, electrónica, <b>medicina, odontología</b> , electroquímica y procesamiento, a través de la colaboración multidisciplinaria con otros cuerpos académicos.	- GARCÍA SERRANO JESÚS - GUERRERO SERRANO AZDRUBAL LOBO - HERRERA GONZÁLEZ ANA MARÍA LIDER DE CA - TREJO CARBAJAL NA YELY - VARGAS RAMIREZ MARISSA
Universidad Autónoma del Estado de México	UAEM-CA-11 - FÍSICA ESTADÍSTICA	Biofísica Molecular y Medios Ionizados	Estudiar teorica y experimentalmente la conformacion, estructura propiedades dinamicas, termodinamicas, reologicas y las funciones de las diversas biomoleculas- particularmente proteinas, bajo diferentes ambientes Estudiar teórica y experimentalmente la conformación, estructura, propiedades dinámicas, termodinámicas, reológicas y las funciones de las diversas biomoléculas-particularmente proteínas, bajo diferentes ambientes ionizados con el proposito de comprender los mecanismos de información y/o desarrollo o de múltiples enfermedades humanas y desarrollar tecnologías de diagnósticos, son la termoforesis y la nanotermometría para aplicaciones biotecnologicas y médicas.	- IBARRA TANDI BENJAMÍN - LIRA CAMPOS ALICIA LUCRECIA - LÓPEZ LEMUS JORGE - LÓPEZ RENDON ROBERTO - MAYORGA ROJAS MIGUEL - MULIA RODRÍGUEZ JORGE - OSORIO GONZÁLEZ DANIEL - REYES ROMERO PEDRO GUILLERMO - ROMERO SALAZAR LORENA LIDER DE CA

Institución	Nombre del cuerpo académico (CA)	Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)	Descripción de las LGAC	Miembros del CA
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	UAEMOR-CA-165 - Biomoléculas, Nutracéuticos y Alimentos Funcionales	Desarrollo en tecnología farmacéutica y formulaciones en sistemas nanoestructurados.	Se consideran diferentes estrategias de investigación en el área de tecnología farmacéutica y/o aplicación para el desarrollo de composiciones terapéuticas experimentales para pruebas preclínicas y formulaciones en sistemas nanoestructurados para las diferentes composiciones, extractos y/o compuestos puros para las pruebas terapéuticas en modelos farmacológicos in vitro, in vivo y/o ex vivo.	- ALVAREZ BERBER LAURA PATRICIA - GARDUÑO RAMIREZ MARÍA LUISA DEL CARMEN LIDER DE CA - MARQUINA BAHENA SILVIA
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	UAEMOR-CA-164 - Desarrollo y seguridad de productos farmacéuticos y biotecnológicos	Tecnología Farmacéutica y Biotecnología de medicamentos y dispositivos	Desarrollo, obtención, optimización, caracterización y evaluación de la eficacia in vitro e in vivo de nuevas formas farmacéuticas, nanosistemas, biofármacos, terapia génica y dispositivos de ingeniería tisular.	- ALCALÁ ALCALÁ SERGIO LIDER DE CA - GOMEZ GALICIA DIANA LIZBETH - MENESES ACOSTA ANGELICA
Universidad Autónoma Metropolitana	UAM-I-CA-106 - Fisicoquímica de sistemas nano-estructurados	Síntesis y caraterización de sistemas nano-estructurados para su aplicación en ciencias de materiales y ciencias médico-biológicas	Síntesis, ablación láser, métodos de <b>biomedicina</b> . Caracterización de propiedades moleculares, dispersión Raman, absorción infrarroja, Microscopía de fuerza atómica, Microscopía electrónica de barrido, Espectroscopía de fotoelectrones X, sustratos de Ag,Au, Bi, Se.	- BATINA SKELEDZIJA NIKOLA - HARO PONIATOWSKI EMMANUEL LIDER DE CA - JIMENEZ AQUINO JOSE INES - PICQUART MICHEL
Universidad Autónoma Metropolitana	UAM-X-CA-117 - Estudio multidisciplinario de microorganismos, productos naturales, sintéticos o nanopartículas de importancia en el área de la	Estudio químico farmacológicos de productos naturales sintéticos o nanopartículas de importancia en el área de la salud.	Línea que aborda el estudio químico-farmacológico de productos naturales obtenidos de plantas y/o animales usados en la medicina tradicional así como compuestos obtenidos por medios sintéticos con actividad sobre el síndrome metabólico especialmente con actividad antiinflamatoria, antidiarreica, anticancerosa, antimicrobiana e hipoglucemiante.	- BUSTOS MARTÍNEZ JAIME AMADEO - HAMDAN PARTIDA AIDA - ZAVALA SÁNCHEZ MIGUEL ANGEL LIDER DE CA
	salud.	Diseño y estudio farmacológico de nanopartículas de importancia en el área de la salud.	Diseño y estudio farmacológico de nanopartículas con uso potencial para combatir enfermedades y/o síntomas de importancia en le área de la salud.	- BUSTOS MARTÍNEZ JAIME AMADEO - HAMDAN PARTIDA AIDA - ZAVALA SÁNCHEZ MIGUEL ANGEL LIDER DE CA
Universidad de Guadalajara	UDG-CA-1135 - BIOMARCADORES INMUNOGENETICOS Y FACTORES FARMACOLOGICOS EN ENFERMEDADES CRONICO DEGENERATIVAS	MECANISMOS FARMACOLOGICOS Y NANOTECNOLOGICOS EN ENFERMEDADES CRONICO DEGENERATIVAS	Estudia los mecanismos y el potencial terapeutico, de farmacos y nanoparticulas utilizados en el tratamiento de enfermedades cronico degenerativas como: enfermedades autoinmunes, obesidad, sindrome metabolico y cancer.	- GARCIA IGLESIAS TRINIDAD - MACHADO SULBARAN ANDREA CAROLINA - PEREZ GUERRERO EDSAUL EMILIO - RAMIREZ DUEÑAS MARIA GUADALUPE LIDER DE CA - SÁNCHEZ HERNÁNDEZ PEDRO ERNESTO
Universidad de Guadalajara	UDG-CA-1103 - NANOMATERIALES Y BIOMEDICINA	NANOMATERIALES Y BIOMEDICINA	La LGAC estudiará la biología estructural de los microorganismos, su genetica y sus interacciones moleculares con eucariotas en los procesos patologicos, las bases moleculares involucradas en las enfermedades crónico degenerativas, y su respuesta a fármacos naturales y sintéticos, asi como diferentes tipos de <b>nanomateriales</b> , aplicados en el campo de la biología, medio ambiente y <b>nanomedicina</b> .	- CAMARGO HERNANDEZ GABRIELA - PÉREZ LARIOS ALEJANDRO LIDER DE CA

Institución	Nombre del cuerpo académico (CA)	Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)	Descripción de las LGAC	Miembros del CA
Universidad de Guadalajara	UDG-CA-1140 - ESPECTROSCOPIA RAMAN Y NANOCIENCIA VERDE	SINTESIS VERDE Y CARACERIZACION DE NANOMATERIALES	Se desarrollara investigacion en la preparacion de <b>nanoparticulas</b> metalicas y semiconductoras a traves de metodos amigables con el medio ambiente, conocidos como sintesis verde, de bajo costo y facil eleaboracion. Se buscara obtener caracteristicas deseables y especificas para ciertas aplicaciones por ejemplo en el sector agropecuario y en el <b>sector salud</b> . la caracterizacion de los nanomateriales se hara por medio de espectoscopia uv-vis y microscopia electronica.	- GONZÁLEZ SOLÍS JOSÉ LUIS LIDER DE CA - MARTINEZ ZEREGA BRENDA ESMERALDA - OSEGUERA GALINDO DAVID OMAR
Universidad de Guadalajara	UDG-CA-792 - PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE SISTEMAS NANOESTRUCTURADOS	BIOMATERIALES NANOESTRUCTURADOS	Combinando metodologias de electrofisiologia, fluorometria, sintesis de nanomateriales y modelaje computacional, se estudian relaciones entre la estructura y funcion de <b>materiales biologicos nanoestructurados</b> .	- FLORES GALLEGOS NELSON - FLORES RUIZ HUGO MARCELO - GARIBAY ALONSO RAUL - GUILLEN ESCAMILLA IVAN - MÉNDEZ BERMÚDEZ JOSÉ GUILLERMO - MENDEZ MALDONADO GLORIA ARLETTE - MIXTECO SANCHEZ JUAN CARLOS LIDER DE CA - SANCHEZ RODRIGUEZ JORGE EMMANUEL
Universidad de Guadalajara	UDG-CA-797 - NUTRICION Y BIOTECNOLOGIA EN SALUD	ALIMENTOS FUNCIONALES	Línea dedicada para el diseño, uso y aplicación de alimentos, compuestos o <b>nanoelementos funcionales</b> sobre metabolismo, microbiota y fisopatología de <b>enfermedadess relacionadas con la nutrición</b> .	- ARRATIA QUIJADA JENNY - FLORES CONTRERAS LUCIA - LOPEZ DE LA MORA DAVID ALEJANDRO - NUÑO ANGUIANO KARLA JANETTÉ LIDER DE CA
Universidad de Guadalajara	UDG-CA-495 - BIOMATERIALES	NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGIA DE BIOMATERIALES	Estudio de nanomateriales de origen biológico y otros biomateriales para ingenieria tisular, encapsulamiento y liberacion de sustancias activas, biomateriales compuestos, biosensores, y otras aplicaciones biomédicas.	- CETINA CORONA ABRAHAM FRANCISCO - ESCALANTE ALVAREZ MARCOS ALFREDO - TORIZ GONZALEZ GUILLERMO LIDER DE CA
Universidad de Sonora	UNISON-CA-163 - Estudios de materiales fotónicos	Aplicaciones de Sistemas Nanoestructurados a la Tecnología y a la Medicina.	Se buscarán aplicaciones a la tecnología y a la medicina en los materiales manométricos desarrollados en el cuerpo académico.	- ACOSTA ENRIQUEZ MILKA DEL CARMEN - APOLINAR IRIBE ALEJANDRO LIDER DE CA - CASTILLO SANTOS JESUS - DE LEON FLORES ANED - OCHOA LANDÍN RAMÓN
Universidad de Sonora	UNISON-CA-183 - Bio espectroscopías e imagenologías en nanoplataformas médicas	Física médica	Estudio y desarrollo de técnicas para el empleo de la radiación ionizante (rayos X, beta y gamma) y no ionizante (radiación IR y UV) en la <b>irradiación de tejidos humanos como sangre, piel, órganos y huesos</b> . Los fines científicos y médicos involucrados en esta línea incluyen la dosimetría biológica y el efecto de la introducción de <b>nanopartículas en la interacción de la radiación - célula viva</b> .	- BARBOZA FLORES MARCELINO - CASTAÑEDA MEDINA BEATRÍZ DEL CARMEN - PEDROZA MONTERO MARTÍN RAFAEL LIDER DE CA - SANTACRUZ GOMEZ KARLA JOSEFINA - SOTO PUEBLA DIEGO

Institución	Nombre del cuerpo académico (CA)	Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)	Descripción de las LGAC	Miembros del CA
		Espectroscopías biomédicas	Caracterización de muestras orgánicas e inorgánicas para determinar la composición físico química de tejidos y células mediante técnicas emisión IR, microscopía de fuerza atómica y raman. Mejoramiento y amplificación de la señal espectroscópica e imagenología (Smart AFM, CARS, SERS) de tejidos vivos mediante la introducción de nanopartículas.	
		Imagenología y teranóstica	Estudio del aumento de dosis local absorbida de radiación o la emisión de calor de tejidos y células mediante la funcionalización adecuada de <b>nanoplataformas</b> . Biomarcaje específico para imagenología hyperespectral raman.	
Universidad de Sonora	UNISON-CA-195 - Bionanoingeniería	Nanosistemas para aplicaciones biomédicas	Esta línea se refiere al desarrollo y aplicación de nanosistemas para el tratamiento de enfermedades, así como para la obtención de imágenes para emplearse en las diferentes etapas de una enfermedad. En cuanto a los tratamientos de enfermedades, se incluye el uso de nanosistemas para el transporte de compuestos activos en el cuerpo humano o en animales, para lograr de forma segura y efectiva el efecto terapéutico deseado.	- GUERRERO GERMAN PATRICIA - GUTIERREZ VALENZUELA CINDY ALEJANDRA - LUCERO ACUÑA JESUS ARMANDO LIDER DE CA - ZAVALA RIVERA PAUL
Universidad de Sonora	UNISON-CA-199 - Micro y Nano Tecnologías Biomédicas	Diseño y aplicación de dispositivos inteligentes para transporte y liberación de fármacos	En esta línea se realizarán el diseño de dispositivos nano y microestructurados en base a carbono, metálicos y poliméricos (polímeros naturales y sintéticos, nanodiamante, sílica, magnetita, oro y plata, entre otros. La finalidad es contar con dispositivos de alta especificidad para lograr tratamientos más efectivos y biocompatibles.	- ACOSTA ELIAS MONICA ALESSANDRA - ANGULO MOLINA ARACELY - BURGARA ESTRELLA ALEXEL JESUS - SARABIA SAINZ JOSE ANDRE-I - SILVA CAMPA ERIKA LIDER DE CA
Universidad de Sonora	UNISON-CA-86 - CIENCIAS DE MATERIALES	BIOPOLÍMEROS	Esta línea de investigación incluye proyectos basados en la preparación de nuevos materiales utilizando polímeros naturales. Se trabaja en la obtención y caracterización de membranas de nanofibras de biopolímeros utilizando de electrohilado, así como el estudio de su uso potencial en la liberación controlada de fármacos e ingeniería de tejidos. Se llevan a cabo también trabajos enfocados en la síntesis y caracterización de hidrogeles basados en polímeros naturales y su posible aplicación en la liberación controlada de fármacos u otras sustancias químicas de importancia biológica.	- CASTILLO ORTEGA MARIA MONICA - DEL CASTILLO CASTRO TERESA LIDER DE CA - ENCINAS ENCINAS JOSE CARMELO - QUIROZ CASTILLO JESUS MANUEL - RODRIGUEZ FELIX DORA EVELIA

Institución	Nombre del cuerpo académico (CA)	Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC)	Descripción de las LGAC	Miembros del CA
		MATERIALES COMPUESTOS CON MATRIZ POLIMÉRICA	Esta línea de investigación se enfoca a la preparación e incorporación de materiales diversos en marices poliméricas. Los trabajos incluyen la mezcla de polímeros sintéticos con biopolímeros para mejorar propiedades de biodegradabilidad, así como las combinaciones con polímeros naturales dirigidasd a aplicaciones de liberación de fármacos e ingeniería de tejidos. Se desarrollan también proyectos encaminados a obtener materiales compuestos electroconductores de matriz polimérica a partir de polímeros electroconductores y de nanotubos de carbono, con aplicaciones en el área de sensores químicos, biosensores, recuperación de metales, sensores electromecánicos y sistemas de liberación controlada.	
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco	UJAT-CA-274 - Nanotecnología para Aplicaciones en Biomedicina y Medio Ambiente	Nanomateriales	Diseño, síntesis y caracterización de <b>nanomateriales</b> y evaluación de sus propiedades en sistemas catalíticos, fotocatalíticos y biológicos.	- ÁLVAREZ LEMUS MAYRA ANGÉLICA LIDER DE CA - FRIAS MARQUEZ DORA MARIA - LÓPEZ GONZÁLEZ ROSENDO
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	UMSNH-CA-228 - Síntesis y Caracterización de Compuestos Orgánicos, de Coordinación y Materiales	SÍNTESIS Y CRACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS, DE COORDINACIÓN Y BIONANOCOMPUESTOS	Construcción planificada de moléculas orgánicas, de compuestos de coordinación y <b>bionanocompuestos</b> a partir de síntesis total o parcial, así como su posible <b>aplicación biomédica</b> , catalítica, farmacológica, entre otras.	- DEL RIO TORRES ROSA ELVA NORMA LIDER DE CA - GOMEZ HURTADO MARIO ARMANDO - LOPEZ CASTRO YLIANA - RODRIGUEZ GARCIA GABRIELA
Universidad Politécnica de Pachuca	UPPACH-CA-13 - NANOTECNOLOGÍA, NUEVOS MATERIALES Y SISTEMAS PARA L A SALUD, INDUSTRIA Y ENERGÍAS ALTERNAS	DISEÑO E INNOVACIÓN DE NANOMATERIALES Y MATERIALES AVANZADOS CON APLICACIÓN TECNOLÓGICA	Se realiza investigación fundamental y desarrollo tecnológico de <b>materiales nanométricos, nanoestructurados</b> y nuevos materiales simples, compuestos e híbridos con <b>aplicación en áreas de la salud</b> , la industria y relativas a las energías alternas.	- CASTILLO OJEDA ROBERTO SAÚL - FLORES GONZÁLEZ MARCO ANTONIO - JARAMILLO LORANCA BLANCA ESTELA - VILLANUEVA IBAÑEZ MARICELA LIDER DE CA
Universidad Politécnica del Valle de México	UPVMEX-CA-18 - Ingeniería en Materiales	Materiales funcionales	Realizar la síntesis y caracterización de materiales funcionales, con el propósito de desarrollar dispositivos optoelectrónicos, sistemas Microelectromecánicos (MEMS), Nanoelectromecánicos (NEMS) y sensores biomédicos.	- CAMACHO OLGUIN CARLOS ALBERTO - CASTILLO SÁNCHEZ GABRIELA - CRUZ MEJIA HECTOR - GONZALEZ RODRIGUEZ CARLOS ALBERTO LIDER DE CA - RAMOS TERCERO LUZ MARIA

Anexo 4: Proyectos de investigación en nanomedicina de IES federales y privadas

Proyectos de investigación de la UNAM

Nombre del proyecto	Dependencia	Responsable
	=	
Síntesis y caracterización de materiales nanoestructurados	Centro de Física Aplicada y	Eric Mauricio Rivera
para aplicaciones en biomateriales y/o catálisis	Tecnología Avanzada (Juriquilla, Querétaro)	Muñoz
Nanovactores y agyitación agústica pera liberación de	Centro de Física Aplicada y	Luz María López Marín
Nanovectores y cavitación acústica para liberación de genes en células de mamífero	Tecnología Avanzada	Luz Maria Lopez Mariii
genes en ceruras de maninero		
Síntesis de nanomateriales bifuncionales: biomateriales	(Juriquilla, Querétaro)	Gustavo Alonso Hirata
	Centro de Nanociencias y	Flores
magnéticos/luminiscentes	Nanotecnología (Ensenada, Baja California)	rioles
Desarrollo de nanomateriales luminiscentes aplicados a	Centro de Nanociencias y	Gustavo Alonso Hirata
medicina y biotecnología	Nanotecnología (Ensenada,	Flores
medicina y biotechologia	Baja California)	Tioles
Síntesis y propiedades físico-químicas de hydroxiapatitas	Centro de Nanociencias y	Manuel Herrera Zaldívar
luminiscentes para uso como sensores de degradación de	Nanotecnología (Ensenada,	Walluel Hellera Zaldival
sistemas óseos in vitro	Baja California)	
Innovación y transferencia tecnológica de nanomateriales	Centro de Nanociencias y	Nina Bogdantchikova
imovación y transferencia tecnologica de nanomateriales		Nina Bogdantenikova
	Nanotecnología (Ensenada, Baja California)	
Dissão y come stanización de nonomentículos con estividad		Defeet Véggyez Dubet
Diseño y caracterización de nanopartículas con actividad	Centro de Nanociencias y	Rafael Vázquez Duhalt
citocromo P450 inmunológicamente inertes y capaces de	Nanotecnología (Ensenada, Baja California)	
ser reconocidas por células de gliomas	<i>'</i>	NO DISDONIDI E
Desarrollo, aplicación y transferencia tecnológica de	Centro de Nanociencias y	NO DISPONIBLE
materiales en base de nanopartículas de Au y Ag activos	Nanotecnología (Ensenada,	
en catálisis, medicina, veterinaria y agricultura	Baja California)	I C A
Micro y nanopartículas con efecto antimicrobiano en la	Escuela Nacional de Estudios	Laura Susana Acosta
innovación de biomateriales de aplicación odontológica	Superiores, Unidad León,	Torres
	Guanajuato	Ed Ál 7
Generación de bio-materiales basados en nanotubos de	Facultad de Ciencias	Edgar Álvarez Zauco
carbono por procesos químicamente limpios para		
aplicaciones optoelectrónicas y de biocompatibilidad	Ek-d d-E-4-d:	D-4 D N
Nanotoxicología: estudio de la capacidad citotóxica y	Facultad de Estudios	Patricia Ramírez Noguera
genotóxica de nanopartículas fabricadas con	Superiores "Cuautitlán"	
polietilcianoacrialto y quitosan	D. L. I.I. D. C. P.	D :10:
Diseño y caracterización de nuevos sistemas de liberación	Facultad de Estudios	David Quintanar Guerrero
controlada de fármacos ensamblados por la adsorción de	Superiores "Cuautitlán"	
nanopartículas en dispersiones micrométricas	D. L. I.I. D. C. P.	El: 1 4 B:~/ C 1
Diseño, elaboración y caracterización de nanopartículas	Facultad de Estudios	Elizabeth Piñón Segundo
poliméricas para el tratamiento local de infecciones	Superiores "Cuautitlán"	
vaginales	D. L. I.I. D. C. P.	
Nanoacarreadores como sistemas terapéuticos para la	Facultad de Estudios	Flora Adriana Ganem
liberación y vectorización de fármacos a través de	Superiores "Cuautitlán"	Rondero
membranas biológicas	D. L. I.I. D. C. P.	D :10:
Evaluación de nanopartículas lipídicas sólidas como	Facultad de Estudios	David Quintanar Guerrero
promotor de neurofármacos	Superiores "Cuautitlán"	El Ali C
Aplicación de métodos físicos para administrar sustancias	Facultad de Estudios	Flora Adriana Ganem
de interés terapéutico a través de la piel	Superiores "Cuautitlán"	Rondero
Optimización de la composición farmacéutica y	Facultad de Estudios	Benny Weiss Steider
mejoramiento del proceso de producción de	Superiores "Zaragoza"	
nanoacarreadores que contienen IL-2		D W
Caracterización farmacéutica para preformulación de	Facultad de Estudios	Benny Weiss Steider
nanoacarreadores que contienen IL-2	Superiores "Zaragoza"	
Elaboración de micro y nanofibras de PCL y PCL/Gelatina	Facultad de Odontología	Marco Antonio Álvarez
por la Técnica de electrospinning para la regeneración de		Pérez
tejidos mineralizados		

Nombre del proyecto	Dependencia	Responsable
Diseño, desarrollo y caracterización de sistemas	Facultad de Química	María Josefa Bernad
nanopartícula-cristal líquido y su aplicación en		Bernad
biomedicina		
Simulación de sistemas poliméricos utilizados como	Facultad de Química	Luis Alberto Vicente
vehículos de entrega sintéticos (liberadores de fármacos) y		Hinestroza
efecto del medio		
Construcción de nuevos nanomateriales basados en	Instituto de Biotecnología	Octavio Tonatiuh Ramírez
proteínas virales		Reivich
Obtención controlada de sistemas metálicos	Instituto de Ciencias	Roberto Sato Berru
nanoestructurados para aplicaciones en detección de	Aplicadas y Tecnología	
biomoléculas por espectroscopía Raman con sensibilidad	(antes Centro de Ciencias	
amplificada	Aplicadas y Desarrollo	
	Tecnológico)	
Estudio de andamios de nano y micro fibras a partir de	Instituto de Investigaciones	Ricardo Vera Graziano
nuevas formulaciones de polímeros funcionalizados para	en Materiales	
su aplicación en la regeneración de tejidos		

Proyectos de investigación del IPN

Proyectos de investigación del IPN				
Nombre del proyecto	Dependencia	Responsable		
Eficacia antimicrobiana de nanofibras para el tratamiento	Escuela Nacional de	Julieta Luna Herrera		
de infecciones por actinobacterias	Ciencias Biológicas			
Estudio toxicológico, farmacocinético y evaluación in	Escuela Nacional de	Margarita Franco Colín		
vivo de nanofibras con antibióticos	Ciencias Biológicas			
Eficacia antimicrobiana de compositos de nanofibras	Centro de Biotecnología	Virgilio Bocanegra García		
contra bacterias de importancia clínica	Genómica			
Elaboracion de nanofibras biopolimericas mediante	Centro de Investigación en	Miguel ángel Aguilar		
electrohilado para aplicaciones farmacologicas	Ciencia Aplicada y	Méndez		
	Tecnología Avanzada,			
	Unidad Legaria			
Desarrollo de materiales nanoestructurados	Escuela Superior de	Martha Leticia Hernández		
funcionalizados para la detección indirecta del virus de la	Ingeniería Química e	Pichardo		
influenza h1n1	Industrias Extractivas			
Modelamiento y simulación molecular para el diseño de	Escuela Superior de Física y	Juan Ignacio Rodríguez		
sensores del virus de la influenza h1n1 basados en	Matemáticas	Hernández		
materiales nanoestructurados				
Estudio de nanopartículas superparamagnéticas de	Escuela Superior de Física y	Hernani Tiago Yee Madeira		
magnetita funcionalizadas para remediación de problemas	Matemáticas			
ambientales, biomédicos y de enfermedades crónico				
degenerativas.				
Desarrollar un biosensor colorimétrico y amperometrico	Centro de Investigación en	Eduardo San Martín		
con nanofibras para la determinación de glucosa en saliva	Ciencia Aplicada y	Martínez		
	Tecnología Avanzada,			
	Unidad Legaria	D :16 :11		
Desarrollo de un nano-fitofármaco con propiedades	Escuela Nacional de	David Guillermo Pérez		
antiedematosas para el tratamiento de isquemia cerebral	Medicina y Homeopatía	Ishiwara		
Fabricación de nanoestructuras de óxidos metálicos	Unidad Profesional	Oscar Eduardo Cigarroa		
bifuncionales para tratamiento de cáncer de mama	Interdisciplinaria en	Mayorga		
mediante acoplamiento con miricetina e hipertermia.	Ingeniería y Tecnologías			
	Avanzadas	T 1 T 1 C / A '		
Desarrollo de una formulación de uso tópico a base de	Unidad Profesional	Karol Karla García Aguirre		
nanopartículas de plata obtenidas mediante química verde,	Interdisciplinaria de			
con fines antisépticos y cicatrizantes	Ingeniería Campus Zacatecas	A/1 T/ / : D 1/		
Formación de biopeliculas bacterianas y fúngicas sobre	Escuela Nacional de	Aída Verónica Rodríguez Tovar		
materiales biomédicos y nanoestructuras	Ciencias Biológicas			
Estudios de seguridad fase i y ii del bionanoconjugado de	Escuela Nacional de	David Guillermo Pérez		
bacopa para regeneración tisular de heridas y úlceras.	Medicina y Homeopatía	Ishiwara		
Actividad biológica de las distintas formulaciones del	Escuela Nacional de	María del Consuelo Gómez		
nanoconjugado de bacopa de regeneración tisular en	Medicina y Homeopatía	García		
modelos in vitro e in vivo				

Nombre del proyecto	Dependencia	Responsable
Síntesis de películas nanoestructuradas biocompatibles antibacteriales para aplicaciones en prótesis	Escuela Superior de	Martin Daniel Trejo Valdez
antibacteriales para apricaciones en protesis	Ingeniería Química e Industrias Extractivas	
Acoplamiento de sirnas con actividad antiviral a nanoparticulas de quitosan	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas	Elizabeth Ortega Soto
Aplicación terapéutica de nanodispositivos (medicamentos	Escuela Superior de	Juan Manuel Vélez
inteligentes) para la prevención y remediación de enfermedades cardiovasculares	Medicina	Reséndiz
Estudio del reconocimiento selectivo de células cancerosas	Centro de Investigación en	Adrián Martínez Rivas
por medio de nanopartículas magnéticas	Computación	
inmunoconjugadas con potencial en terapia		

Proyectos de investigación de IES privadas

Froyectos de investigación de 1ES privadas				
Institución	Proyecto	Responsable		
	Desarrollo de un material biocompatible y nanoestructurado para la manufactura de suturas inteligentes mediante la inyección por ultrasonido	Alex Elías Zúñiga		
Instituto	Caracterización teórica experimental y desarrollo de modelos constitutivos de materiales biocompatibles nanoestructurados	Alex Elías Zúñiga		
Tecnológico y de Estudios	Desarrollo de material biocompatible nanoestructurado para la manufactura de protesis craneales mediante conformado incremental	Oscar Martínez Romero		
Superiores de Monterrey (ITESM)	Desarrollo de Nanovectores a Base de Silice Cargados de Sirna, para el Silenciamiento del Uniplex como Tratamiento para la Insuficiencia Cardiaca	Gerardo de Jesús García Rivas		
	Generación de un novedoso nanovector para la coentrega dirigida y liberación controlada de fármacos protectores contra el daño por isquemia/reperfusión miocárdica	Omar Lozano García		
	Desarrollo de Electrodos modificados a base de Nanotubos de Dióxido de Titanio con Aplicaciones en la Detección y Cuantificación de Moléculas de Interés Biomédico y Ambiental	Mónica Cerro López		
Universidad de las Américas Puebla	Desarrollo de Nanomateriales y Sistemas Moleculares (Compuestos de Coordinación y Moléculas Orgánicas) para Aplicaciones Biomédicas y Ambientales.	Miguel Ángel Méndez Rojas		
(UDLAP)	Metal-Organic Frameworks Coated on Magnetic Nanoparticles for Cancer Therapy.	Miguel Ángel Méndez Rojas		
	Nanopartículas Magnéticas con Estructuras Core-Shell: Efectos de la Naturaleza del Recubrimiento sobre las Propiedades Magnéticas y sus Potenciales Aplicaciones Biomédicas.	Miguel Ángel Méndez Rojas		
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO)	Fabricación de biosensores nanoestructurados no invasivos para el monitoreo periódico de glucosa para la detección oportuna de diabetes mellitus	Elsie Evelyn Araujo Palomo		

Anexo 5: Temas de investigación en nanomedicina de los centros de investigación

Investigación sobre nanomedicina en el CINVESTAV

TESIS. Síntesis, Caracterización y Evaluación de Nanoparficulas Núcleo-Envoltura du Net2O4 (x=Fe, Co, Mn, Zn) Funcionalizadas (DF-44, Docetaxel y Bicalutamida para el Tratamiento In Vitro de Cáncer de Mama Triple. 2021. Autor. Median Pérez Maurico Alberto.  TESIS. Síntesis y caracterización de nanopartículas de ósidos de hiero funcionalizadas con Gd-DTPA para su posible aplicación en el diagnóstico y tratamiento de Cáncer. 2021. Autor. Eguta Eguta Sandrai Irene.  TESIS. Síntesis y caracterización de nanopartículas de oro sobre alúmina porosa para detección de biomarcadores mediante espectroscopía SEBS (Surface-Inhaned Raman Scattering). 2021. Autor: Cigarroa Mayorga Oscar Eduardo.  TESIS. Nanomateriales de Quitosano, Hidroxiapatita y Nanotubos de Carbono en Ingeniería de tejdo ésco. 2020. Autor: Gómez Sánchez Alejandro.  TESIS. Innovación del mecanismo de importación nuclear de vector de neurotensina NTS-poliplex. 2020. Autor: López. Salas-Francisco Emesto  TESIS. Sintesis de hidroxiapatita nanocristalina para odonto-queratoprotesis. 2019. Autor: Valdes Madrigal Manuel Alejandro.  TESIS. Biosintesis de nanopartículas superparamagnética con extractos de canela y vainilla: propiedades y generación de hipertermia in vitro en un modelo de estudio de enfermedades neurodegenerativas y cerebrales. 2018. Autor: Ramirez Núñez Ana Luisa.  TESIS. Efectos de las nanopartículas de hidroxiapatita en líneas celulares de cáncer de mama. 2017. Autor: Vázquez Hemández Fabiola.  TESIS. Efectos de las nanopartículas de hidroxiapatita con extractos de canela y vainilla: propiedades y generación de hipertermia in vitro en un modelo de estudio de enfermedades neurodegenerativas y cerebrales. 2018. Autor: Ramirez Núñez Ana Luisa.  TESIS. Efectos de las nanopartículas de hidroxiapatita con extractos de canela y vainilla: propiedades y cerebrales. 2018. Autor: Ramirez Núñez Ana Luisa.  TESIS. Disaboración de nanopartículas de hidroxiapatita usando como Matriz Polimérica el Acido Polifáctico para Regeneración ósea. 2017. Autor: Román Dov	IIn:a.a		Medicina en el CINVESTAV
Nanopartículas Núcleo-Envoltura Au XF2C04 (x=Fe, CO, Mn, Zn.) Funcionalizadas (DF-44, Docetaxel y Bicalutamida para el Tratamiento In Vitro de Cáncer de Mama Triple. 2021. Autor: Medina Pérez Mauricio Alberto.  TESIS. Símesis y caracterización de nanopartículas de óxidos de hierro funcionalizadas con Gd-DTPA para su posible aplicación en el diagnóstico y tratamiento de Cáncer. 2021. Autor: Eguía Eguía Sandrai Irene.  TESIS. Símesis y caracterización de nanopartículas de oro sobre alúmina porosa para detección de biomarcadores mediante espectroscopia SERS (Surface-Inhaneed Raman Scattering). 2021. Autor: Gigarroa Mayorga Oscar Eduardo.  TESIS. Símesis y caracterización de hanopartículas de oro sobre alúmina porosa para detección de biomarcadores mediante espectroscopia SERS (Surface-Inhaneed Raman Scattering). 2021. Autor: Gigarroa Mayorga Oscar Eduardo.  TESIS. Nanomateriales de Quitosano, Hidroxiapatita y Nanotubos de Carbono en Ingeniería de tejido óseo. 2020. Autor: Gómez Sánchez Alejandro.  TESIS. Intesión del mecanismo de importación nuclear de vector de neurotensima NTS-poliplex. 2020. Autor: López Salas-Francisco Ernesto  TESIS. Síntesis de hidroxiapatita nanocristalina para edonto-queratoprotesis. 2019. Autor: Valdes Madrigal Manuel Alejandro.  TESIS. Bíctos Cernesto  TESIS. Bíctos de las nanopartículas superparamagnética con extractos de canela y vainilla; propiedades y generación de hipertermia in vitro en un modelo de estudio de deferemadades neurodegenerativas y ecrebrales. 2018. Autor: Ramíre Núñez Ana Luisa.  TESIS. Disson en urodegenerativas y ecrebrales. 2018. Autor: Ramíre Núñez Ana Luisa.  TESIS. Eleos de las nanopartículas de hidroxiapatita en líneas celulares de cáncer de mama. 2017. Autor: Vázquez Hernández Pábiola.  TESIS. Eleos de las nanopartículas de hidroxiapatita on líneas celulares de cáncer de mama. 2017. Autor: Manisekaran Ravichandran.  TESIS. Eleos de las nanopartículas de hidroxiapatita usando como Matriz Polimérica el Acido Polifactico para Regeneración Ósea. 2017. Autor: Anado	Unidad	Departamento / Sitio web	Líneas de investigación, proyectos y/o tesis
		Programas Multidisciplinarios - Nanociencias y Nanotecnología	TESIS. Síntesis, Caracterización y Evaluación de Nanopartículas Núcleo-Envoltura Au xFe2O4 (x=Fe, Co, Mn, Zn) Funcionalizadas (DF-44, Docetaxel y Bicalutamida) para el Tratamiento In Vitro de Cáncer de Mama Triple. 2021. Autor: Medina Pérez Mauricio Alberto.  TESIS. Síntesis y caracterización de nanopartículas de óxidos de hierro funcionalizadas con Gd-DTPA para su posible aplicación en el diagnóstico y tratamiento de Cáncer. 2021. Autor: Eguía Eguía Sandrai Irene.  TESIS. Síntesis y caracterización de nanopartículas de oro sobre alúmina porosa para detección de biomarcadores mediante espectroscopía SERS (Surface-Enhanced Raman Scattering). 2021. Autor: Cigarroa Mayorga Oscar Eduardo. TESIS. Nanomateriales de Quitosano, Hidroxiapatita y Nanotubos de Carbono en Ingeniería de tejido óseo. 2020. Autor: Gómez Sánchez Alejandro.  TESIS. Innovación del mecanismo de importación nuclear del vector de neurotensina NTS-poliplex. 2020. Autor: López Salas Francisco Ernesto  TESIS. Síntesis de hidroxiapatita nanocristalina para odonto-queratoprotesis. 2019. Autor: Valdes Madrigal Manuel Alejandro.  TESIS. Biosíntesis de nanopartículas superparamagnéticas con extractos de canela y vainilla: propiedades y generación de hipertermia in vitro en un modelo de estudio de enfermedades neurodegenerativas y cerebrales. 2018. Autor: Ramírez Núñez Ana Luisa.  TESIS. Efectos de las nanopartículas de hidroxiapatita en líneas celulares de acáncer de mama. 2017. Autor: Vázquez Hernández Fabiola.  TESIS. Diseño y evaluación de nanopartículas núcleo-envoltura de Au-MFe2O4 (M-Fe/Co/Mn) plasmônicas/magnéticas funcionalizadas con Doxorrubicina para terapéutica del cáncer. 2017. Autor: Manisekaran Ravichandran.  TESIS. Elaboración de Compositos Electrohilados de Nanotubos de Carbono e Hidroxiapatita usando como Matriz Polimérica el Ácido Poliláctico para Regeneración Ósea. 2017. Autor: Román Doval Ramón.  TESIS. Caracterización, formulación y diseño de un proceso de producción de NTS-poliplex. 2017. Autor: Aranda Barradas María Eugenia.  TESIS.
			Enfermedad de Parkinson y estrategias de nanotecnología farmacéutica para su optimización. 2021. Autor: Hernández

Unidad	Departamento / Sitio web	Líneas de investigación, proyectos y/o tesis
		TESIS. Uso de la nanotecnología para optimizar la biodisponibilidad de curcumina. 2020. Autor: López
		González Ana María.
		TESIS. Elaboración optimización y caracterización de una formulación de nanopartículas para el transporte de L-
		Dopa a sistema nervioso central. 2017. Autor: Caballero
		Florán Isaac Hiram.
		LÍNEA DE INVESTIGACIÓN. Nanomedicina regenerativa
		para la <b>enfermedad de Parkinson</b> por reprogramación del
	Fisiología, Biofísica y	genoma de neuronas dopaminérgicas, Neuroinmunología y
	Neurociencias	Enfermedades Neurodegenerativas. Responsable: Dr. Daniel Martínez Fong.
	http://www2.fisio.cinvestav.mx/	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN. Formulación de nanopartículas
		para el envío de fármacos a SNC. Responsable: Dr.
		Benjamín Florán Garduño.
		Línea de investigación. Nanotecnología de RNA/DNA.
		Responsable: Dr. Luis Marat Alvarez Salas.
		LÍNEA DE INVESTIGACIÓN. Estudio de los efectos de Nano-
	Genetica y Biologia Molecular	materiales sobre sistemas biológicos. Responsable: Dr.
	https://genetica.cinvestav.mx/	José Efraín Garrido Guerrero.
		Línea de investigación. Nanotecnología y sus
		aplicaciones en enfermedades crónico-degenerativas.
		Responsable: Dr. José Tapia Ramírez.  Línea de investigación. Nanotoxicología: estudios de
	Toxicología	toxicidad de nanoparticulas de metales (con potencial uso
	https://toxicologia.cinvestav.mx/	en la industria de ahorro de energía, electrónica y <b>médica</b> ).
		Responsable: Dra. Andrea De Vizcaya Ruiz.
	Física https://www.fis.cinvestav.mx/	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN. Nanopartículas Magnéticas
		para diagnóstico y tratamiento contra el cáncer.
		Responsable: Dr. Jaime Santoyo Salazar.
	<b>Física Aplicada</b> https://www.mda.cinvestav.mx/	ÁREA DE INVESTIGACIÓN. Nano y biomateriales: estudio
		teórico y experimental de los nanomateriales y
Unidad Mérida		<b>biomateriales</b> , incluyendo la síntesis, caracterización, la predicción y medición de las propiedades fisicoquímicas y
Cindud Micrida		algunas aplicaciones asociadas como celdas solares de
		segunda y tercera generación, recubrimientos selectivos,
		liberación de medicamentos, generación de hidrógeno.
		LÍNEA DE INVESTIGACIÓN. Sintesis y Caraterización de
	Materiales https://qro.cinvestav.mx/	Nanocompositos y sus aplicaciones en biomedicina y
		alimentos funcionales: (i) Nanomateriales para aplicacion
II.: 1.1.0		biomédica, (ii) Propiedades electricas, dieléctricas y
Unidad Querétaro		mecénicas de nanomateriales para aplicacion en la ingeniería de tejido óseo, (iii) Sintesis de
		bionanocompuestos para aplicaciones biomédicas, (iv)
		Micro y Nanoencapsulado de ingredientes activos.
		Responsable: Dr. Gabriel Luna Bárcenas.
	Ingoniorío Corómico	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN. Biocerámicos y compósitos
	Ingeniería Cerámica https://saltillo.cinvestav.mx/	bioactivos. Recubrimientos biomiméticos en la superficie de
Unidad Saltillo	https://cinvestav-	sustratos cerámicos y metálicos, y nanopartículas
	ceramica.wixsite.com/	magnetícas para aplicaciones biomédicas. Responsable:
		Dra. Dora Alicia Cortés Hernández.

Investigación sobre nanomedicina en los Centros de Investigación CONACYT

Investigación sobre nanomedicina en los Centros de Investigación CONACYT				
Institución	Líneas de investigación, proyectos y/o tesis	Sitio web		
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ)	PROYECTO. Análisis de mecanismos de resistencia bacteriana al contacto con nanomateriales.	https://www.cideteq.mx/investigacion-y-tecnologia/salud/		
Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV)	Línea de investigación. Síntesis y dopaje de nanotubos de carbono, grafeno y oxido de grafeno para aplicación en campos como catálisis, medio ambiente y biomedicina.  Línea de investigación. Estudio de sistemas híbridos (M2D/Nanopartículas metálicas) para aplicación en campos como catálisis y biomedicina.	https://cimav.edu.mx/investig acion/subsede- monterrey/area-de- nanoestructuras-y- nanocompuestos-polimericos/		
	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN. Block Copolymers, nanotecnología, nanomedicina. Responsable: Dr. Ramiro Guerrero Santos.	https://www.ciqa.mx/Ramiro Guerrero.aspx		
Centro de Investigación en Química Aplícada (CIQA)	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN. Química Macromolecular y Nanomateriales. "[] materiales avanzados que ayuden a resolver las necesidades y problemáticas en empaque, recubrimientos, materiales aligerantes, transporte y liberación controlada de fármacos, dispositivos médicos, electrónicos, autopartes de plástico, reciclado de plástico, aplicaciones de materiales grafénicos, materiales avanzados para textiles inteligentes, biocompatibilidad de materiales avanzados para prótesis y tejidos, entre otros".	https://www.ciqa.mx/Investig acionyDes.aspx		
	LINEA DE INVESTIGACIÓN. Materiales avanzados -> Nanomateriales. "Partículas magnéticas nanocristalinas mediante el proceso sol-gel, incorporadas en nanocompuestos de matriz de sílice, en látices magnéticos obtenidos mediante polimerización en microemulsión y en fluidos magnéticos preparados a través de procesos de dispersión coloidal. Existe una gran cantidad de aplicaciones potenciales para estos productos, entre las que se cuentan [] dispositivos electromecánicos e implantes médicos".	https://www.ciqa.mx/LineasI nvest.aspx		
Centro de Investigaciones en Óptica (CIO)	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN. Aplicaciones de la técnicas ópticas (Raman, Fluorecencia, Fototémnicas OCT) en Biomedicina y <b>Aplicaciones nano estructurados en biomedicina</b> . Responsable: Dr. Juan Luis Pichardo Molina.	https://www.cio.mx/investiga dores/juan_pichardo/		
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)	PROYECTO. Nanopartículas para la absorción de luz en la primera ventana biológica y la liberación de fármacos en nanogeles termosensibles.	https://www.cicese.edu.mx/in vestigacion/innovacion_biom edica/1		

#### Anexo 6: Publicaciones derivadas del proyecto de tesis

Soto Vázquez, R., Záyago Lau, E., & Maldonado López, L. A. (2022a). Gobernanza de la nanomedicina: Una revisión sistemática. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, *15*(28), Art. 28. https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69682

#### **ARTÍCULOS DE REVISIÓN**

www.mundonano.unam.mx | Mundo Nano

https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69682 | 15(28), 1e-25e, enero-junio 2022

## Gobernanza de la nanomedicina: una revisión sistemática

## Nanomedicine governance: a systematic review

Roberto Soto-Vazquez,\*,\* Edgar Záyago Lau,\*\* Luis Alfonso Maldonado López\*\*\*

**ABSTRACT:** Nanomedicine bears essential benefits from both medical and technical perspectives. However, there are toxicological, environmental, ethical, and social implications worth researching. Governance encompasses, among other things, the management of risks and benefits of new technologies to minimize risk and, presumably, increasing benefits. This paper aims to show an overview of nanomedicine governance through a systematic review of scientific literature. The methodology consisted of five steps: 1) searching for papers in Scopus, Web of Science and SciELO; 2) cleaning results; 3) gathering altmetrics from Dimensions; 4) reviewing papers, and, 5) critical analysis of the papers. We identified certain regulatory deficiencies and ethical issues related to nanomedical products. There has been an advance in researching threats to health and the environment from nanomedical applications, but there are still gaps in regulation.

**KEYWORDS:** nanomedicine, governance, regulation, risks, ethical issues.

**RESUMEN:** La nanomedicina (la aplicación de la nanotecnología en medicina) está revolucionando el diagnóstico, tratamiento y control de enfermedades. Aunque es cierto que esta ha generado importantes beneficios desde el punto de vista médico, existen riesgos toxicológicos, ambientales, éticos y sociales que deben ser analizados. La gobernanza, entre otras cosas, abarca la gestión de riesgos y beneficios de las nuevas tecnologías, por lo que puede aplicarse en nanomedicina para el análisis de riesgos. El objetivo de este artículo es mostrar un panorama de la gobernanza de la nanomedicina a través de una revisión sistemática de la literatura científica. La metodología empleada consistió en los siguientes pasos: 1) búsqueda de artículos en las bases de datos de Scopus, Web of Science y SciELO; 2) limpieza de resultados; 3) obtención de datos altmétricos de la plataforma Dimensions; 4) descarga y lectura de los artículos, y, 5) análisis crítico de los artículos. Como resultado se identificaron deficiencias regulatorias y preocupaciones éticas vinculadas con los productos nanomédicos, pero también se encontraron propuestas para evaluar riesgos y abordar aspectos éticos. Se concluye que, aunque ha habido progresos en la evaluación de riesgos, aún existen asuntos pendientes en materia de regulación.

PALABRAS CLAVE: nanomedicina, gobernanza, regulación, riesgos, aspectos éticos.

Soto Vázquez, R., Záyago Lau, E., & Maldonado López, L. A. (2022b). Nanomedicina para enfrentar la pandemia de COVID-19: Un análisis bibliométrico de las publicaciones de Web of Science con la herramienta Bibliometrix de R. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 33, Art. 0. http://rcics.sld.cu/index.php/acimed/article/view/1880



#### Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud. 2022;33:e1880

Ciencias de la Información y COVID-19

# Nanomedicina para enfrentar la pandemia de COVID-19: un análisis bibliométrico de las publicaciones de *Web of Science* con la herramienta Bibliometrix de R

Nanomedicine in the struggle against COVID-19: a bibliometric analysis of Web of Science publications with the R-tool Bibliometrix

Roberto Soto Vazquez<sup>1\*</sup> https://orcid.org/0000-0002-1956-7045

Edgar Záyago Lau<sup>2</sup> https://orcid.org/0000-0002-3670-8356

Luis Alfonso Maldonado López<sup>3</sup> https://orcid.org/0000-0003-3703-9825

<sup>1</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Zacatenco. Ciudad de México, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica en Estudios del Desarrollo. Zacatecas, México.

<sup>3</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Mérida. Yucatán, México.

#### RESUMEN

La enfermedad de COVID-19, a poco más de un año de su aparición, ha provocado más de 2 000 000 de muertes y más de 100 000 000 de contagios a nivel mundial. Ante esta situación, científicos de varias disciplinas han trabajado arduamente para luchar contra ella. Una de las disciplinas involucradas en la investigación sobre COVID-19 es la nanomedicina, que se define como la aplicación de la nanotecnología en medicina. El objetivo de este trabajo es explorar, mediante un análisis bibliométrico, la producción científica sobre nanomedicina aplicada a la COVID-19. Se realizó una búsqueda de

<sup>\*</sup>Autor para la correspondencia: mxrobertosoto@gmail.com

Záyago Lau, E., León Silva, S., & Soto Vázquez, R. (2021). Nanotechnology and Covid: Technical Solutions in the Hunt for Inequality. En *Impacts of COVID-19 on Societies and Economies*.

## 12

## NANOTECHNOLOGY AND COVID: TECHNICAL SOLUTIONS IN THE HUNT FOR INEQUALITY

Edgar Záyago Lau, Sein León Silva, and Roberto Soto Vázquez

#### Abstract

This chapter argues that in the face of the worst economic and health crisis caused by Covid-19, the world's nations have opted for technical solutions to solve the pandemic problem. In doing so, they have subordinated anti-Covid technological development to the laws of capitalist accumulation. Consequently, control of the vaccine production chain has remained in transnational companies located in the most developed countries. We use various analysis methods to advance our argument, including collecting scientific publications, patents, vaccine production, and application. The real success is at the hand of the winners of this pandemic: big pharma.

Keywords: Nanotechnology, pharma, Covid

#### Introduction

This chapter advances an analysis based on quantitative techniques to show the inequality in the chain production of nano enabled vaccines to treat Covid-19. This inequity is illustrated in the technical and social benefits that developed countries ensure to the detriment of developing countries. Practically, scientific publications, patents, vaccines, and the profits derived from their sales are monopolized among pharmaceutical transnationals. The principle of justice and well-being is subsumed by the interest of profit, even in the most severe health crisis of the last 100 years. The first section explores the contrasting positions on technological progress and its role in solving social problems. In the next section, we explain the potential of nanotechnology-based Covid-19 vaccines. Later we illustrate the different stages of development of these vaccines and the leading role