



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“ESTADO DEL ARTE DE LA NANOTECNOLOGÍA RELACIONADO AL MEDIO AMBIENTE Y LA SOSTENIBILIDAD”

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingenieras Ambientales

AUTORAS:

Farinango Aules Diana Maritza

Tenelema Toapanta Evelin Gabriela

TUTOR:

Clavijo Cevallos Manuel Patricio

LATACUNGA – ECUADOR

Febrero 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Diana Maritza Farinango Aules, con cédula de ciudadanía No. 175459278 y Evelin Gabriela Tenelema Toapanta, con cédula de ciudadanía No. 1850472745, declaramos ser autoras del presente proyecto de investigación: " **ESTADO DEL ARTE DE LA NANOTECNOLOGÍA RELACIONADO AL MEDIO AMBIENTE Y LA SOSTENIBILIDAD** ", siendo el Licenciado Ph.D. Manuel Patricio Clavijo Cevallos, Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 15 de febrero del 2024

Diana Maritza Farinango Aules
C.C: 1754592788
ESTUDIANTE

Evelin Gabriela Tenelema Toapanta
C.C: 1850472745
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **FARINANGO AULES DIANA MARITZA**, identificada con cédula de ciudadanía **1754592788** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“ESTADO DEL ARTE DE LA NANOTECNOLOGÍA RELACIONADO AL MEDIO AMBIENTE Y LA SOSTENIBILIDAD”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 - Septiembre 2019

Finalización de la carrera: Octubre 2023 – Marzo 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 28 de noviembre del 2023

Tutor: Licenciado Ph.D. Manuel Patricio Clavijo Cevallos

Tema: **“ESTADO DEL ARTE DE LA NANOTECNOLOGÍA RELACIONADO AL MEDIO AMBIENTE Y LA SOSTENIBILIDAD”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 15 días del mes de febrero del 2024.

Diana Maritza Farinango Aules
LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **TENELEMA TOAPANTA EVELIN GABRIELA**, identificada con cédula de ciudadanía **1850472745** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“ESTADO DEL ARTE DE LA NANOTECNOLOGÍA RELACIONADO AL MEDIO AMBIENTE Y LA SOSTENIBILIDAD”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 - Septiembre 2019

Finalización de la carrera: Octubre 2023 – Marzo 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 28 de noviembre del 2023

Tutor: Licenciado Ph.D. Manuel Patricio Clavijo Cevallos

Tema: **“ESTADO DEL ARTE DE LA NANOTECNOLOGÍA RELACIONADO AL MEDIO AMBIENTE Y LA SOSTENIBILIDAD”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- g) La publicación del trabajo de grado.
- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 15 días del mes de febrero del 2024.



Evelin Gabriela Tenelema Toapanta
LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“ESTADO DEL ARTE DE LA NANOTECNOLOGÍA RELACIONADO AL MEDIO AMBIENTE Y LA SOSTENIBILIDAD”, de Farinango Aules Diana Maritza y Tenelema Toapanta Evelin Gabriela, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 15 de febrero del 2024



Ledo. Manuel Patricio Clavijo Cevallos, Ph.D.

CC: 0501444582

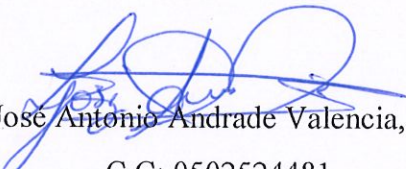
DOCENTE TUTOR

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

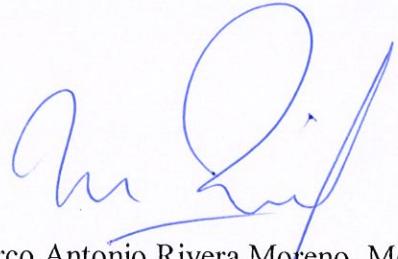
En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Farinango Aules Diana Maritza y Tenelema Toapanta Evelin Gabriela, con el título del Proyecto de Investigación: **“ESTADO DEL ARTE DE LA NANOTECNOLOGÍA RELACIONADO AL MEDIO AMBIENTE Y LA SOSTENIBILIDAD”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

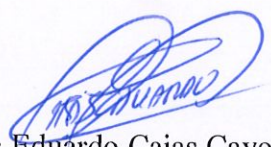
Latacunga, 15 de febrero del 2024



Ing. José Antonio Andrade Valencia, Ph.D.
C.C: 0502524481
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.
C.C: 0501518955
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Issac Eduardo Cajas Cayo, Mg.
C.C: 0502205164
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por mi vida y salud que me regalado también por guiar mis pasos, brindarme la sabiduría y fortaleza necesaria para alcanzar esta meta.

A mi madre por ser mi pilar fundamental en este proceso, brindarme apoyo incondicional, de amor comprensión y palabras de aliento, de igual forma a mi hermano compañero de batallas y cómplice de este proceso y a mi hermana por ser mi inspiración, mi confidente y mi mejor amiga, su presencia ha iluminado mi camino ha hecho que este viaje académico sea más significativo, y a mi abuelo por sus valiosos consejos de la humildad y la sencillez. También quiero agradecer a toda la familia de Nueva Vida en Cristo quienes han sido mis mentore/as espirituales y sociales que con sus sabios concejos y sus oraciones me han inspirado a luchar en tierras lejanas.

Quiero expresar mi gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales especialmente a la carrera de Ingeniería Ambiental por brindar una educación valiosa de conocimientos y experiencia durante estos años de aprendizaje. Agradezco a los docentes por enseñarme, compartir su sabiduría para avanzar y mejorar a lo largo de mi carrera universitaria.

Finalmente, a mi tutor Dr. Patricio Clavijo agradezco por su infinita paciencia, amplio conocimiento y enseñanzas impartidas en esta tesis, no solo representa mi esfuerzo individual sino también lleva consigo la huella de tu mentoría para alcanzar mi meta, y al Tribunal de Lectores por su paciencia y apoyo incondicional durante el desarrollo de esta investigación.

¡Gracias, a todos de corazón!

Diana Maritza Farinango Aules

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por guiar mis pasos, darme fuerzas en los momentos de debilidad y concederme la sabiduría necesaria para llevar a cabo esta investigación.

Agradezco a mis padres por su constante aliento y por creer en mí cuando las cosas se ponían difíciles. Su confianza inquebrantable me ha dado la fuerza para seguir adelante y perseguir mis metas académicas.

A mis hermanos, gracias por ser mi fuente de inspiración y por motivarme a dar lo mejor de mí en cada paso del camino.

También quiero agradecer a mis amigos, quienes me han brindado su apoyo emocional y me han recordado que la vida no solo se trata de trabajo y estudio. Sus risas y momentos compartidos han sido un consuelo para el estrés y la presión.

Por último, quiero agradecer a mi Universidad Técnica de Cotopaxi por formar profesionales éticos y humanistas, a los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental por haberme guiado a lo largo de estos años y en especial a mi tutor M.Sc. Patricio Clavijo y al tribunal de lectores por su conocimiento y aportes en la elaboración de este proyecto de investigación.

Evelin Gabriela Tenelema Toapanta

DEDICATORIA

Este trabajo investigativo está dedicado a mi querida Madre Mercedes, por ser mi guía inquebrantable, mi confidente, mi fuente inagotable de amor, palabras alentadoras y apoyo incondicional desde la distancia, cada página escrita lleva impreso el reflejo de tu influencia positiva en mi vida.

A mi hermana Patricia por su ser mi mayor defensora que con su esfuerzo y dedicación ha sido una gran inspiración para lograr mis metas, quien nunca ha dudado en brindarme su apoyo total y creer en mí.

A mi adorado Abuelo Pascual, mi sabio guía, ejemplo de perseverancia, varón de respeto y gratitud te dedico este proyecto de investigación en reconocimiento a la profunda huella que me has dejado en mi vida.

De la misma manera a mi hermano Samuel cómplice y compañero de aventuras tu presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable gracias por siempre sacarme sonrisa con tus locuras, a pesar de más 100 km de las distancias nos separaba. Finalmente, a todos mis familiares, compañeros y amigos que siempre han brindado ese apoyo incondicional, dejando una huella especial en mi camino. Gracias por entender mi ausencia, por brindarme vuestro aliento y por ser mis pilares de apoyo desde la distancia.

Con todo amor.

Diana Maritza Farinango Aules

DEDICATORIA

Con gran emoción y gratitud, dedico este proyecto de investigación a mis padres, mis pilares más fuertes y mi mayor inspiración, porque desde el primer día, han creído en mí y han sido mi guía en cada paso. Han sido testigos de mis desafíos y triunfos, y siempre han estado ahí para animarme a seguir adelante, incluso cuando las dificultades parecían abrumadoras. Esto no habría sido posible sin su amor incondicional, apoyo constante y sabios consejos a lo largo de mi vida académica.

Agradezco infinitamente su constante apoyo moral y financiero, su comprensión cuando las horas de estudio me alejaban de casa y su paciencia cuando mis emociones se desbordaban. Sin ustedes, este logro no sería posible.

Gracias por ser mis mentores y mis mejores amigos. Los amo con todo mi corazón y esto solo el comienzo de lo que espero sea una vida llena de éxitos compartidos. Este proyecto de investigación no es solo mía, sino también suya.

Evelin Gabriela Tenelema Toapanta

UNIVERSIDAD TÉCNICA COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TITULO: “ESTADO DEL ARTE DE LA NANOTECNOLOGÍA RELACIONADO AL MEDIO AMBIENTE Y LA SOSTENIBILIDAD”

Autoras:

Farinango Aules Diana Maritza
Tenelema Toapanta Evelin Gabriela

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo la evaluación del estado actual de la nanotecnología en su aplicación para la preservación ambiental y el impulso de prácticas sostenibles. El enfoque se dirigió a la identificación de soluciones más eficaces y sostenibles para los desafíos ambientales. La metodología implementada abarcó la revisión bibliográfica y la aplicación de métodos inductivos y analíticos, junto con la recopilación específica de datos relacionados con la nanotecnología en el ámbito medioambiental y de la sostenibilidad, focalizándose en bases de datos documentales especializadas en nanotecnología. Los resultados derivados de la investigación indican que la nanotecnología destinada al ámbito medioambiental se destaca como la elección más promisoría para desarrollar procesos productivos con menor impacto ambiental, mayor sostenibilidad y menor consumo de energía. Se destaca especialmente su eficacia en la remediación de sitios contaminados, con un énfasis particular en el tratamiento del agua, aire y suelos. En la industria ambiental, los materiales nanotecnológicos más recurrentes son la plata, silicio, titanio, zinc, grafeno y carbono, siendo el bióxido de titanio y los nanotubos de carbono especialmente destacados por sus propiedades únicas. En la fitorremediación de suelos asistida por nanotecnología, se evidencia que nanopartículas como la partícula de hierro cerovalente, dióxido de titanio, carbono y silicio demuestran eficacia en la remediación del suelo. En relación con la contaminación del aire, se enfatiza el uso de nanopartículas y nanocompuestos, en particular el óxido de grafeno y otros óxidos básicos, para la detección de contaminantes comunes como dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre e hidróxido de azufre. Estos hallazgos subrayan la importancia estratégica de la nanotecnología en la búsqueda de soluciones ambientales más avanzadas y sostenibles.

Palabras clave: nanomateriales, nanopartículas, recursos, remediación, tecnológicas.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “STATE-OF-THE-ART OF NANOTECHNOLOGY RELATED TO THE ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY”

Authors:

Farinango Aules Diana Maritza
Tenelema Toapanta Evelin Gabriela

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the current state of nanotechnology and its applications in promoting sustainable practices and environmental preservation. The focus of the study was to identify more effective and sustainable solutions to environmental challenges. The methodology used included a bibliographic review, the application of inductive and analytical methods, and specific data collection related to nanotechnology in the environmental and sustainability field, focusing on specialized documentary databases. The research results show that nanotechnology has great potential for developing production processes with lower environmental impact, greater sustainability, and lower energy consumption. Its effectiveness in the remediation of contaminated sites is particularly noteworthy, with a focus on water, air, and soil treatment. In the environmental industry, the most common nanotechnological materials are silver, silicon, titanium, zinc, graphene, and carbon, with titanium dioxide and carbon nanotubes being especially notable for their unique properties. In nanotechnology-assisted soil phytoremediation, nanoparticles such as zero-valent iron particles, titanium dioxide, carbon, and silicon are effective in soil remediation. In terms of air pollution, emphasis is placed on the use of nanoparticles and nanocomposites, particularly graphene oxide and other basic oxides, for the detection of common pollutants such as nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and sulfur hydroxide. These findings highlight the strategic importance of nanotechnology in the development of more advanced and sustainable environmental solutions.

Keywords: nanomaterials, nanoparticles, resources, remediation, technological.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vii
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	viii
AGRADECIMIENTO	ix
DEDICATORIA	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
5. OBJETIVOS	6
5.1. General	6
5.2. Específicos.....	6
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	8
7.1. Sostenibilidad	8
7.2. Nanotecnología.....	10
7.3. Principios básicos de la nanotecnología.....	10
7.4. Materiales nanoestructurados y sus propiedades.....	12
7.5. Clasificación de los nanomateriales.....	13
7.5.1 Categorización de los nanomateriales según su dimensionalidad	14
7.5.2 Categorización de los nanomateriales según su naturaleza química.....	16
7.5.3 Categorización de los nanomateriales según su composición	18
7.6. Métodos de síntesis y fabricación de los nanomateriales	22
7.6.1. Método Sol-gel.....	23
7.6.2. Método sólido	25
7.6.3. Método Hidrotérmico	26
7.6.4. Método solvo-térmico	27
7.6.5. Método de oxidación directa.....	28

7.6.6.	Método de deposición química de vapor.....	28
7.6.7.	Método de deposición física de vapor.....	29
7.6.8.	Método de electrodeposición.....	30
7.6.9.	Síntesis por microondas.....	31
7.6.10.	Síntesis verde	32
7.7.	Nanomateriales Sostenibles.....	34
7.8.	Características de nanomateriales sostenibles	35
7.9.	Nanomateriales biodegradables y ecoamigables	36
7.10.	Normativas y estándares en sostenibilidad nanotecnológica.....	36
7.11.	Nanomateriales inteligentes.....	39
7.12.	Nanomateriales activos.....	40
7.13.	Nanotecnología y medio ambiente.....	41
7.13.1.	Impacto de la nanotecnología en la salud ambiental.....	42
7.13.2.	Nanotecnología en procedimientos medioambientales de biorremediación .	43
7.14.	Nanotecnología y la sostenibilidad	44
7.14.1.	Aplicaciones sostenibles de nanomateriales	45
7.14.2.	Uso de nanomateriales en la remediación ambiental y la gestión de residuos	47
8.	PREGUNTA CIENTÍFICA	48
9.	METODOLOGÍA.....	49
9.2.	MÉTODOS.....	50
9.2.1.	Método inductivo	50
9.2.2.	Método bibliográfico.....	50
9.2.3.	Método Analítico	50
9.3.	TÉCNICAS	51
9.3.1.	Revisión bibliográfica	51
9.3.2.	Recopilación de información.....	51
9.3.3.	Análisis de datos	51
9.4.	INSTRUMENTOS.....	51
9.4.1.	Base de datos	51
10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	52
10.1.	Bases de datos e informaciones sobre las investigaciones y avances más recientes de nanotecnología enfocadas en su capacidad para abordar problemas ambientales específicos.....	52

10.1.1.	Nanotecnología aplicada al campo ambiental en el tratamiento de aguas para consumo humano	58
10.1.2.	Fitorremediación asistida por nanotecnología aplicada a problemas ambientales del suelo	59
10.1.3.	Nanomateriales para la remediación del aire	62
10.1.4.	Nanosensores para la remediación de la contaminación del aire.....	64
10.2.	Impacto de la nanotecnología en la mejora de la eficiencia de los recursos en función de promover la sostenibilidad	65
10.2.1.	Nanotecnologías desarrolladas a Latinoamérica.....	65
10.3.	Capacidad de la nanotecnología para crear soluciones tecnológicas que sean ambientalmente sostenibles.	68
10.3.1.	Aplicación de innovaciones en nanomateriales en la remediación de la contaminación del aire en ciudades	68
11.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	71
11.1.	Bases de datos e informaciones sobre las investigaciones y avances más recientes de nanotecnología enfocadas en su capacidad para abordar problemas ambientales específicos.....	71
11.2.	Impacto de la nanotecnología en la mejora de la eficiencia de los recursos en función de promover la sostenibilidad	73
11.3.	Capacidad de la nanotecnología para crear soluciones tecnológicas que sean ambientalmente sostenibles.	74
12.	IMPACTOS	76
12.1.	Impacto técnico	76
12.2.	Impacto social	77
12.3.	Impacto ambiental.....	78
13.	CONCLUSIONES	79
14.	RECOMENDACIONES	80
15.	BIBLIOGRAFÍA	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Beneficiarios del proyecto	3
Tabla 2 Matriz de actividades por objetivo	7
Tabla 3 Principios básicos de nanotecnología	11
Tabla 4 Organización ISO/TC 229	38
Tabla 5 Aplicaciones sostenibles de nanomateriales	46
Tabla 6 Fitorremediación asistida por nanotecnología	60
Tabla 7 Nanomateriales para la remediación de la contaminación del aire	63
Tabla 8 Nanosensores para la remediación de la contaminación del aire	64
Tabla 9 Investigaciones realizadas y el área de aplicación de nanotecnologías y agua, período 2004 – 2019	66
Tabla 10 Innovaciones en nanomateriales en la remediación de la contaminación del aire en ciudades	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Objetivos de desarrollo sostenible	9
Figura 2 Clasificación de los nanomateriales según su dimensión	14
Figura 3 Nanomateriales basados en carbono	19
Figura 4 Organización estructural de un dendrímero	21
Figura 5 Síntesis de nanomateriales.....	23
Figura 6 Esquema del método sol-gel.....	24
Figura 7 Esquema de una síntesis hidrotérmica	27
Figura 8 Esquema de síntesis por microondas	31
Figura 9 Esquema de síntesis verde.....	33
Figura 10 Nanomateriales inteligentes utilizados como portadores y dosificadores de fármacos en el tratamiento y la detección de cáncer.....	40
Figura 11 Empleos de nanotecnología en biorremediación de aguas residuales.....	44
Figura 12 Estado del Arte de la Nanotecnología en el medio ambiente	53
Figura 13 Certificación de nanotecnología para uso medio ambiental.....	54
Figura 14 Artículos científicos de nanomateriales más utilizados en productos en la industria medio ambiental.....	55
Figura 15 Artículos de divulgación científica relacionados con uso de nanomateriales superiores.....	56
Figura 16 Artículos de divulgación científica relacionados con uso de nanomateriales según su tipo	57
Figura 17 Artículos de divulgación científica relacionados con uso de nanomateriales según su dimensión	57
Figura 18 Porcentajes de las nanotecnologías de acuerdo con el área de aplicación.....	58
Figura 19 Investigaciones realizadas en nanotecnología en tratamiento de agua en Latinoamérica (2004 – 2019).....	59
Figura 20 Proyecciones de crecimiento en el mercado mundial de nanotecnologías aplicadas en el tratamiento de aguas (2015-2019).....	67

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Estado del arte de la nanotecnología relacionado al medio ambiente y la sostenibilidad

Fecha de inicio:

Octubre del 2023

Fecha de finalización:

Marzo del 2024

Lugar de ejecución:

El lugar de ejecución principal de este estudio es la ciudad de Latacunga en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia

Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Ingeniería Ambiental

Proyecto de investigación vinculado:

Sostenibilidad ambiental

Equipo de Trabajo:**Investigador/as:**

Diana Maritza Farinango Aules

Evelin Gabriela Tenelema Toapanta

Tutor de Titulación: Dr. Patricio Clavijo Cevallos Ph.D.

Lector 1 Presidente: Ing. José Andrade Valencia, Ph.D.

Lector 2: Ing. Marco Rivera Moreno, M.Sc.

Lector 3: Ing. Cajas Cayo Isaac Eduardo, Mg

Área de Conocimiento:

Ciencias Naturales. Medio Ambiente, Ciencias Ambientales

Línea de investigación:

Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad

Línea de vinculación de la carrera

Gestión de Recursos Naturales, Biodiversidad, Biotecnología y Genética, para el desarrollo humano y social.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La presente investigación surge del aumento de la preocupación por los problemas ambientales y la sostenibilidad en el mundo actual, que ha generado una demanda urgente de soluciones innovadoras y eficientes, y en este contexto, la nanotecnología ofrece un vasto potencial para abordar desafíos ambientales críticos, como la gestión de residuos, la purificación del agua, la construcción ecológica y generación de energía sostenible (Pokrajac et al., 2021). Por lo tanto, esta investigación contribuirá a satisfacer una necesidad imperante de nuestro tiempo al explorar las aplicaciones de la nanotecnología en la mejora del medio ambiente y la difusión de prácticas sostenibles.

A partir de la investigación actual, se busca ofrecer una visión completa de la condición actual de la aplicación de la nanotecnología en el contexto medioambiental y de la sostenibilidad. Dado el constante progreso en este campo, resulta esencial mantenerse al tanto de los últimos avances y desafíos. Así, el conocimiento obtenido mediante este estudio posibilitará a científicos, ingenieros, responsables de políticas y la sociedad en general comprender de manera más profunda cómo la nanotecnología puede ser eficazmente empleada para abordar problemáticas ambientales.

Además, los resultados y hallazgos beneficiarán a la comunidad científica y tecnológica, proporcionándoles una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones. Asimismo, los formuladores de políticas podrán utilizar esta información para tomar decisiones informadas sobre regulaciones y políticas relacionadas con la nanotecnología ambiental. Desde una perspectiva más amplia, la comunidad en su conjunto se beneficiará de soluciones más efectivas y sostenibles para los desafíos ambientales, lo que puede traducirse en una mejor calidad de vida y un planeta más saludable.

En cuanto al impacto y la importancia de este estudio, esta se refleja en la probabilidad de crear tecnologías más ecológicas y eficientes, lo que contribuirá a la conservación de recursos naturales, la mitigación del cambio climático y la reducción de la contaminación. Además, la investigación puede ayudar a establecer estándares de seguridad y regulaciones adecuadas para el uso de nanomateriales en aplicaciones ambientales, abordando así preocupaciones sobre la toxicidad y el impacto.

En última instancia, el valor práctico de esta investigación reside en su capacidad para promover progresos tecnológicos y promover prácticas sostenibles en una sociedad cada vez más consciente de los retos ambientales. Ofrece una oportunidad para desarrollar soluciones más efectivas y seguras, contribuyendo así al desarrollo de un futuro más saludable, sostenible y limpio para las generaciones presentes y futuras.

La base de esta investigación permite dar un aporte teórico de gran importancia debido a que este permite ampliar la comprensión acerca de la nanotecnología relacionado en el medio ambiente y la sostenibilidad facilitando el desarrollo de soluciones innovadoras y eficientes que aborden problemas ambientales cruciales.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios de la investigación sobre el estado del arte de la nanotecnología relacionada con el medio ambiente y la sostenibilidad son diversos y se pueden categorizar en beneficiarios directos e indirectos, considerando género en la medida de lo posible.

Tabla 1

Beneficiarios del proyecto

Beneficiarios Directos	Beneficiarios Indirectos
Comunidad Científica y Tecnológica (Investigadores y Científicos)	Sociedad en general (18,3 millones de personas del país)
Ministerios y organizaciones no gubernamentales	Industrias y sectores económicos en general.
2440 estudiantes de la UTC -F-CAREN.	

La tabla 1 detalla los principales beneficiarios, en este caso se destacan cinco grupos principales los cuales, iniciando con la comunidad científica, las industrias y sectores económicos, al igual que los Ministerios y organizaciones no gubernamentales en torno al desarrollo local de manera sostenible. Finalmente, se incluyen a la comunidad en general y a la sociedad universitaria de la UTC -F-CAREN.

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el contexto global la problemática crítica de la contaminación ambiental se manifiesta como una amenaza para la calidad de vida humana y salud de los ecosistemas. A pesar de los esfuerzos destinados a la ejecución de medidas de mitigación, persisten niveles alarmantes de contaminantes, generando una crisis ambiental de alcance mundial. La nanotecnología se vislumbra como una herramienta potencialmente transformadora en la gestión de esta problemática, aunque su aplicación específica y su impacto en términos de sostenibilidad plantean interrogantes que aún no han sido completamente dilucidados.

En países como Estados Unidos, se desarrolló desde año el 2003 la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI, por sus siglas en inglés) una colaboración significativa entre más de treinta entidades gubernamentales, que abarcan departamentos federales, agencias independientes y comisiones. Esta cooperación está dirigida hacia la realización de una visión conjunta de futuro. En este futuro deseado, se visualiza una capacidad avanzada para comprender y controlar la materia a una escala nano, lo que se percibe como una fuerza motriz para revoluciones tecnológicas e industriales continuas (NNI, 2023).

Visualizando el potencial de la nanotecnología y su aprovechamiento en diversas áreas incluyendo la protección del ambiente la Unión Europea, generó por medio de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (UEFSA) iniciativas de estudios para el análisis de nanomateriales en la cadena trófica humana y animal (UEFSA, 2023). Los países con mayores desarrollos tecnológicos se han inclinado los estudios en torno a la nanotecnología no solo al campo industrial y productivo, sino también hacia proyectos orientados a la protección del ambiente o a la restauración de fuentes de agua, suelos y el aire.

Las iniciativas de adopción de la nanotecnología en el campo ambiental a nivel mundial responden a la creciente problemática de contaminación. Cada vez son más los estudios y situaciones que se presentan en los países que demuestran que estos problemas amenazan la salud de la biodiversidad, calidad de vida, y ecosistemas de las generaciones presentes y venideras. Existe una creciente preocupación global por la contaminación ambiental, lo que ha derivado en una necesidad imperante de promover prácticas sostenibles en un mundo en constante desarrollo, destacando que, la contaminación del entorno natural, la degradación de recursos naturales y el cambio del clima son desafíos fundamentales que enfrenta la sociedad en la actualidad.

En la esfera latinoamericana, la realidad ambiental no difiere sustancialmente, ya que la región se enfrenta a desafíos significativos que afectan tanto la biodiversidad como la salud de sus habitantes (Alvarez, 2021). Aunque se han adoptado medidas para contrarrestar la contaminación, el conocimiento y la aplicación de la nanotecnología en el contexto de la sostenibilidad presentan limitaciones, evidenciando una brecha entre el potencial innovador de esta tecnología y su efectiva implementación para abordar las problemáticas ambientales.

Ecuador, como parte integrante de Latinoamérica, no escapa a esta realidad. A pesar de ser un país mega diverso con ecosistemas únicos, se enfrenta a desafíos ambientales crecientes, que van desde la insalubridad de cuerpos de agua hasta la deforestación. La carencia de información y aplicación de la nanotecnología en el ámbito ambiental es patente, y comprender cómo esta tecnología puede ser empleada para mitigar la contaminación y restaurar el entorno se convierte en una prioridad ineludible. Si bien se han desarrollado iniciativas como el Centro de Investigación y Desarrollo en Nanotecnología (CIDNA) las investigaciones se han centrados en usos industriales (CIDNA, 2023). Otros organismos como el Centro de Nanociencia y Nanotecnología, han desarrollado proyectos con variados fines, entre los que destaca la degradación de polímeros y otros contaminantes con el apoyo de la nanotecnología (CENCINAT, 2023)

El problema central de esta investigación es la necesidad de precisar los desarrollos específicos de la nanotecnología y compilar, así como analizar, el efecto positivo de esta tecnología en el contexto de sostenibilidad. La brecha de conocimiento en cuanto a la aplicación específica de la nanotecnología para abordar la contaminación ambiental a nivel global, latinoamericano y ecuatoriano representa una limitación significativa en la capacidad para implementar soluciones efectivas. Por consiguiente, es imperativo explorar la literatura científica, revisar proyectos y evaluar casos de éxito para proporcionar un marco comprensivo que oriente el uso ético y efectivo de la nanotecnología en la búsqueda de la sostenibilidad ambiental.

Por lo tanto, es esencial que se reúna y organice de manera sistemática la información sobre las aplicaciones actuales, sin lo cual no es posible efectuar una toma de decisiones informada y respaldada por evidencia, así como el hallazgo de áreas prioritarias de investigación y desarrollo, impidiendo aprovechar al máximo su potencial transformador y avanzar hacia un futuro más sostenible. Así mismo, hasta la fecha no se ha realizado un estudio integral que

concentre y analice exhaustivamente la información relacionada con el empleo de la nanotecnología en el campo ambiental y de sostenibilidad, a pesar de la creciente importancia de la nanotecnología se carece de un análisis consolidado que aborde esta temática de manera global.

Por lo que, es necesario la creación de un estudio que evalúe críticamente la literatura disponible en esta área, la cual permitirá no solo llenar este vacío de conocimiento, sino también proporcionar información valiosa para la toma de decisiones bien fundamentadas en el ámbito de la gestión sostenible y ambiental.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Analizar el estado actual de la nanotecnología en relación con su aplicación en la conservación del ambiente y la promoción de la sostenibilidad, para el fomento de soluciones más efectivas y sostenibles para los problemas ambientales.

5.2. Específicos

- Establecer las bases de datos e información sobre las investigaciones y avances más recientes de nanotecnología enfocadas en su capacidad para abordar problemas ambientales específicos.
- Determinar el impacto de la nanotecnología en la mejora de la eficiencia de los recursos en función de promover la sostenibilidad.
- Identificar la capacidad de la nanotecnología para crear soluciones tecnológicas que sean ambientalmente sostenibles.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

La tabla 2 expone el esquemático de las actividades que fueron ejecutadas en el proceso investigativo con base a cada objetivo específico delineado para el estudio. En esta se plantea la metodología aplicada y los resultados que se generaron.

Tabla 2*Matriz de actividades por objetivo*

OBJETIVO	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Establecer Bases de Datos e Información Sobre Avances en Nanotecnología para Problemas Ambientales	<ul style="list-style-type: none"> - Recopilación de investigaciones recientes - Análisis de las aplicaciones específicas 	<ul style="list-style-type: none"> Revisión bibliográfica en bases de datos científicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Bases de dato Sobre Avances en Nanotecnología para Problemas Ambientales.
Determinar el Impacto de la Nanotecnología en la Mejora de la Eficiencia de Recursos para Promover la Sostenibilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de estudios sobre eficiencia de recursos - Identificación del caso de éxito 	<ul style="list-style-type: none"> Revisión bibliográfica en bases de datos científicas de la nanotecnología Recopilación de información sobre estudio de caso 	<ul style="list-style-type: none"> - Se presenta un estudio analítico de distintas aplicaciones nanotecnológicas: Uso de nanopartículas para aguas contaminadas, uso de carbón activado modificado con las nanopartículas para la remoción del azul de metileno en la industria textil, nanopartículas de plata para filtración y desinfección del agua, entre otros.
Identificar la Capacidad de la Nanotecnología para Crear Soluciones Tecnológicas Ambientalmente Sostenibles.	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de las tecnologías sostenibles. - Identificación de las tendencias y proyecciones futuras de las tecnologías ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> Revisión bibliográfica en bases de datos científicas Análisis de tendencias en publicaciones científicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis sobre soluciones Tecnológicas ambientales: <ul style="list-style-type: none"> • Creación de murales gigantes • Paneles de cultivo biosolares • Paredes arbóreas • Tejados que reducen el smog

Nota. En la tabla se detallan las acciones y logros previstos con los objetivos planteados. (Farinango & Tenelema,2023)

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Sostenibilidad

La sostenibilidad se define como la capacidad de atender las necesidades presentes de la humanidad sin comprometer la capacidad de las generaciones venideras para hacer lo mismo. Implica lograr un equilibrio entre el progreso económico, la conservación del entorno natural y el bienestar social a lo largo del tiempo. Para esto, se requiere la aplicación de políticas y medidas que prevengan la depleción irreversible de recursos naturales como el agua, el suelo, los bosques y la biodiversidad, además de reducir las emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático de manera insostenible (Dixit & Chaudhary, 2020).

Estos objetivos reflejan una convocatoria mundial para abordar los desafíos más apremiantes que enfrenta la humanidad. Desde la erradicación de la pobreza y el hambre hasta la promoción de la igualdad de género, el acceso a una educación de calidad, la mitigación del cambio climático y la preservación de los ecosistemas terrestres y marinos, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) abordan una variedad de preocupaciones cruciales. Además, tienen como objetivo asegurar que nadie quede rezagado, enfatizando que el desarrollo económico debe ir de la mano con la inclusión social y la sostenibilidad ambiental. En esencia, estos objetivos representan un compromiso global para forjar un mundo más equitativo, justo y sostenible tanto para las generaciones actuales como para las futuras (Márquez et al., 2021). Desde su adopción, han servido como un marco unificador para gobiernos, organizaciones, empresas y ciudadanos de todo el mundo que colaboran en la búsqueda de un futuro mejor.

Figura 1
Objetivos de desarrollo sostenible



Nota. Obtenido de ONU (2023)

La Figura 1 representa los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), ofreciendo una visualización completa de los compromisos a nivel internacional asumidos por la comunidad global para abordar los desafíos fundamentales que afectan a nuestra sociedad. Estos objetivos, definidos por las Naciones Unidas, abarcan una variedad de áreas que van desde la erradicación de la pobreza y el hambre hasta la promoción de la igualdad de género, el acceso a la educación y la salud, así como la acción climática, la paz y la justicia, entre otros aspectos.

La sostenibilidad se enfoca en la habilidad de satisfacer los deseos actuales sin comprometer de las futuras generaciones. Hasta ahora, la mayoría de las acciones se han centrado en alcanzar objetivos sin tener en cuenta factores ambientales como la degradación ambiental causada por la actividad humana ha superado los límites, lo que obliga a replantear el enfoque hacia el desarrollo. El aumento constante de las emisiones de carbono, resultado de un estilo de vida lujoso y extravagante, ha acelerado el calentamiento global, por esta razón es esencial repensar

y reformular el enfoque hacia el desarrollo sostenible debido que es la mejor alternativa para abordar este desafío (Pavlyk et al., 2021).

7.2. Nanotecnología

La nanotecnología se define como un dominio interdisciplinario que integra la ciencia, la ingeniería y la tecnología, centrado en la manipulación y dominio de la materia a escala nanométrica, donde un nanómetro representa una unidad de medida equivalente a una mil millonésima parte de un metro (Das et al., 2019).

La nanotecnología se dedica a diseñar, crear y utilizar estructuras, dispositivos y sistemas a esta escala extremadamente pequeña sin embargo esta ciencia permite trabajar con átomos y moléculas individuales, lo que abre un vasto campo de posibilidades para generar nuevos elementos con propiedades únicas, crear dispositivos y aplicaciones novedosas en una variedad de campos, que van desde la electrónica y la medicina hasta la manufactura y energía. La nanotecnología tiene un gran impacto en cuanto a la mejora de rendimiento y eficiencia de productos y procesos en muchas industrias (Taran et al., 2021).

7.3. Principios básicos de la nanotecnología

La nanotecnología, al operar a una escala molecular y atómica, ha irrumpido en diversas disciplinas científicas y tecnológicas, ofreciendo un potencial transformador en la manera en que interactuamos con la materia. Sin embargo, ante su promisorio avance, es imperativo establecer principios fundamentales que guíen su aplicación ética y responsable. Estos principios se centran en el empleo cauteloso de la nanotecnología, asegurando la protección y salud del público.

La sostenibilidad también ocupa un lugar central, instando a la comunidad científica y a los innovadores a considerar el impacto ambiental a largo plazo de sus desarrollos nanotecnológicos. Además, la transparencia en la investigación y el desarrollo es esencial, fomentando un diálogo abierto sobre los riesgos y beneficios asociados con estas tecnologías emergentes. En este contexto, el paradigma ético de la nanotecnología abarca desde su concepción en el laboratorio hasta su implementación en la sociedad, garantizando un equilibrio entre la innovación científica y la consideración por el bienestar de todos y la seguridad. En la Tabla 3 se sintetiza los principios generales con el uso de la nanotecnología.

Tabla 3*Principios básicos de nanotecnología*

Principio	Descripción
Precaución	El principio de precaución se aplica en contextos donde la incertidumbre científica acerca de los efectos en el medio ambiente y la salud es significativa. La percepción de la nanotecnología como una amenaza radica en la falta de comprensión sobre sus implicaciones a gran escala, particularmente debido al potencial nocivo de determinados nanomateriales.
Sobre las regulaciones obligatorias específicas para los nanomateriales	Los nanomateriales demandan evaluaciones de sus características físico químicas que difieren significativamente de las de los mismos materiales a escalas mayores. Esta singularidad en sus propiedades los clasifica como nuevos, dado que presentan atributos novedosos y los riesgos asociados a su utilización aún son desconocidos.
Protección y salud del público y los trabajadores	La falta de evaluación de nanomateriales en salud pública y laboral es preocupante. Existe contacto directo entre productos con nanomateriales y quienes los fabrican, con posibles implicaciones, como la liberación de nanomateriales en el cuerpo y sus efectos según la exposición.
Sobre la sustentabilidad ambiental	La actividad industrial que implica la manipulación de nanomateriales, junto con la exposición de los consumidores a estos materiales y su liberación al entorno, inicia ciclos biogeoquímicos que demandan una investigación exhaustiva. Se estima que es necesario examinar estos ciclos antes de llevar a cabo la comercialización de los nanomateriales, dado que aún existe incertidumbre sobre la movilidad y la persistencia de estos materiales en los suelos, las aguas y la atmósfera.
Principio de transparencia	La transparencia implica garantizar el derecho público a conocer tanto el contenido como las posibles consecuencias de estar expuesto o tener contacto directo con un producto. A menudo, los productores no proporcionan información sobre riesgos o composición, basándose en derechos de confidencialidad. Sin embargo, la importancia de prevenir riesgos para la salud humana supera estos derechos, lo que invalida su aplicación. En este sentido, es crucial respetar las convenciones internacionales que establecen pautas para la libre información y conocimiento.

Principio de participación pública

La colaboración pública es un principio a menudo pasado por alto en las alianzas entre gobiernos y corporaciones, que a veces carecen de transparencia y evaden responsabilidades ante la sociedad. Es crucial fomentar la participación pública para incidir en el desarrollo de políticas que regulen de manera adecuada el uso de nanomateriales. Además, el desarrollo tecnológico debe alinearse con las necesidades existentes, evitando la creación de nuevas necesidades cuestionables que generen abundantes residuos en el medio ambiente.

Principio sobre la consideración de amplios impactos

La evaluación de impactos aborda aspectos éticos y socioeconómicos, relacionados con la responsabilidad en la manipulación y liberación de nanomateriales. Esto incluye la consideración de leyes y el impacto en la economía de países en desarrollo. El rumbo comercial de las nanotecnologías se guiará por el desarrollo tecnológico y la distribución de recursos para la investigación.

Principio de responsabilidad del fabricante

Los productores y proveedores de nanomateriales deben asumir la responsabilidad ante los consumidores, reconociendo que las consecuencias en salud y medio ambiente pueden ser graves. La comercialización sin estudios exhaustivos, como en el caso del asbesto, destaca la importancia de considerar tanto el potencial de las aplicaciones como los riesgos asociados a su liberación descontrolada.

Nota. Elaborado por Romero (2020)

Al visualizar la Tabla 3, se aprecia los ocho principales principios, cada uno de estos tiene una connotación en el campo científico y en la adopción de la nanotecnología. Estos permiten regular el empleo del desarrollo de nanomateriales de manera que los avances se efectúen desde el contexto ético y sin perjuicio de los seres vivos, así como del ambiente.

7.4. Materiales nanoestructurados y sus propiedades

Los materiales nanoestructurados son aquellos cuya estructura interna exhibe características a escala nanométrica, lo que implica que presentan patrones y configuraciones ordenadas en dimensiones que van desde 1 a 100 nanómetros (Morán & Rodríguez, 2020). Estos materiales pueden adoptar diversas formas y composiciones, y su nanoestructuración confiere propiedades únicas que difieren significativamente de sus homólogos a mayor escala. La nanoestructuración puede ocurrir en diferentes dimensiones, como en nanocapas, nanofibras, nanotubos o nanopartículas, dependiendo de la aplicación deseada.

En el ámbito de la nanotecnología, la nanoestructuración se utiliza para diseñar materiales con propiedades mejoradas para aplicaciones específicas (Ríos, 2022). Por ejemplo, los nanocompuestos poliméricos nanoestructurados pueden exhibir resistencia mecánica y propiedades térmicas mejoradas, lo que los hace ideales para aplicaciones en la industria aeroespacial y automotriz. La nanoestructuración también es clave en el desarrollo de materiales biomiméticos que imitan estructuras biológicas a nivel nanométrico, brindando avances en la reconstrucción médica y la ingeniería de tejidos.

La fabricación de materiales nanoestructurados implica técnicas avanzadas de nanofabricación y nanotecnología, como la deposición química en fase de vapor, la litografía de haz de electrones y el autoensamblaje molecular (Silva & Medina, 2022). Estas técnicas permiten un control preciso sobre la nanoestructura, lo que es esencial para ajustar las particularidades del material según las necesidades específicas de cada alcance. La investigación continua en este campo se centra en desarrollar métodos más eficientes y sostenibles para la producción de materiales nanoestructurados y en comprender mejor sus propiedades fundamentales.

7.5. Clasificación de los nanomateriales

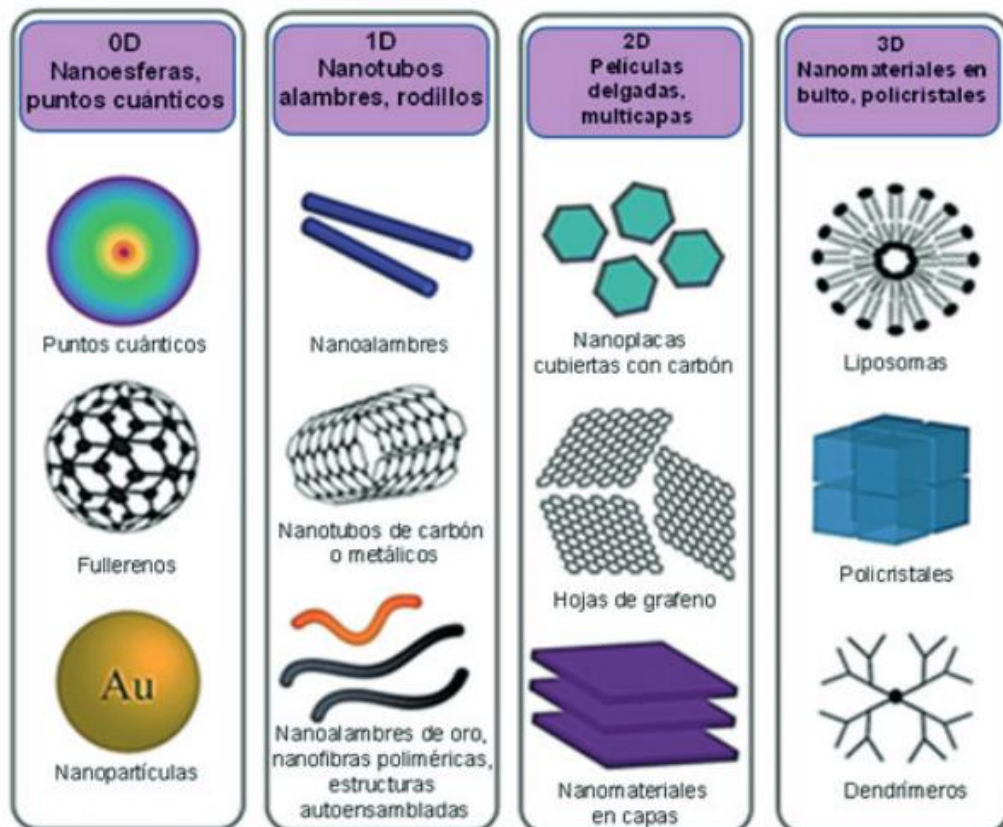
En la categorización de los nanomateriales se plantean variadas formas de agrupación, sin embargo, se destacan tres principales categorías que permiten comprender su diversidad y aplicaciones. En primer lugar, se tiene clasificación según su dimensionalidad, considerando que la estructura en escala nanométrica puede variar en dimensiones unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales. Luego, se examinará la clasificación basada en la naturaleza química de los nanomateriales, resaltando los del grupo de los orgánicos e inorgánicos. Finalmente, se profundizará en la clasificación según la composición, explorando cómo la combinación específica de elementos afecta las propiedades y el comportamiento de estos materiales a nivel nanométrico. Este análisis proporcionará una visión integral de las diversas facetas que definen la clasificación de los nanomateriales.

7.5.1 Categorización de los nanomateriales según su dimensionalidad

Las dimensiones espaciales de las nanopartículas varían considerablemente y ejercen una influencia significativa en sus propiedades. Según su aspecto dimensional, estas pueden ser clasificadas en cuatro grupos distintos (Ver Figura 2).

Figura 2

Clasificación de los nanomateriales según su dimensión



Nota. Tomado de Gómez et al. (2022)

La Figura 2 presenta una clasificación sistemática de los nanomateriales según sus dimensiones, destacando distintos grupos que reflejan la diversidad en la estructura y morfología a escala nanométrica. En primer lugar, se destaca el grupo de las nanoesferas y puntos cuánticos, caracterizados por su forma esférica y propiedades cuánticas únicas, que encuentran aplicaciones prometedoras en campos como la electrónica y la medicina. Un segundo grupo engloba a los nanotubos de alambre y rodillos, evidenciando estructuras tubulares y enrolladas que confieren propiedades mecánicas y conductivas extraordinarias, siendo relevantes en la nanotecnología de materiales compuestos y dispositivos electrónicos.

En tercer lugar, se resalta el grupo de películas delgadas multicapas, indicando estructuras bidimensionales que encuentran aplicaciones en la fabricación de dispositivos optoelectrónicos y recubrimientos avanzados. Finalmente, se mencionan los nanomateriales en bulto, abarcando materiales a granel con propiedades mejoradas debido a la influencia de la nanoescala en su comportamiento macroscópico. Esta clasificación proporciona una visión integral de la diversidad de nanomateriales, subrayando su importancia en una variedad de aplicaciones tecnológicas y científicas.

7.5.1.1. Nanomaterial de tipo cero dimensional (0D)

Las nanopartículas de dimensionalidad cero son de particular interés en la exploración y el avance de nuevos materiales. Su morfología esférica les confiere propiedades específicas, como una alta relación superficie-volumen, que puede ser explotada para mejorar la eficiencia en reacciones químicas y procesos catalíticos (Jiménez, 2022). Además, su capacidad para interactuar con sistemas biológicos a nivel celular las hace valiosas en aplicaciones biomédicas, como la emisión controlada de fármacos y la imagenología médica de alta resolución.

7.5.1.2. Nanomaterial de tipo uni dimensional (1D)

Las nanoestructuras unidimensionales constituyen una categoría fascinante de nanomateriales que se caracterizan por poseer una dimensión significativamente reducida en la escala nanoscópica. Ejemplos notables incluyen nanotubos de carbono y nano fibras, que presentan dimensiones manométricas en una dirección mientras mantienen una longitud considerable (Estrada et al., 2023). Estas estructuras unidimensionales poseen propiedades únicas derivadas de su forma alargada y se destacan por su conductividad excepcional y resistencia mecánica. Este tipo de nanomateriales encuentra aplicaciones en una variedad de campos, desde dispositivos electrónicos hasta materiales compuestos avanzados.

7.5.1.3. Nanomaterial de tipo bi-dimensional (2D)

Las nanoestructuras bidimensionales son aquellas que presentan dos dimensiones en la escala nanométrica. Ejemplos destacados en esta categoría incluyen nanopelículas y nanoláminas, que exhiben propiedades únicas derivadas de su delgadez y extensión en dos dimensiones (Jiménez, 2022). Estas estructuras bidimensionales son conocidas por su alta relación superficie-volumen, lo que les confiere propiedades específicas deseables en diversas aplicaciones.

Las nanopelículas, por ejemplo, son extremadamente delgadas y pueden ser utilizadas en una diversidad de campos, desde la electrónica hasta la elaboración de materiales avanzados. Su amplia superficie proporciona áreas activas significativas, lo que las hace ideales para aplicaciones en sensores, dispositivos electrónicos flexibles y recubrimientos protectores (Estrada et al., 2023). La nanotecnología en dos dimensiones también ha promovido el avance de materiales como el grafeno, que consiste en una única capa de átomos de carbono dispuestos en una estructura hexagonal y que presenta notables características de conductividad eléctrica y térmica, abriendo nuevas posibilidades en la electrónica y la energía.

7.5.1.4. Nanomaterial de tipo tri-dimensional (3D)

Las nanoestructuras tridimensionales son aquellas que presentan dimensiones en la escala nanométrica en las tres direcciones espaciales. Un ejemplo prominente de esta categoría incluye nanopartículas tridimensionales, que exhiben formas y estructuras complejas en la escala nanométrica (Gómez et al., 2022). Estas nanoestructuras tridimensionales son altamente versátiles y se destacan por su capacidad para ser adaptadas y diseñadas con precisión para aplicaciones específicas en diversos campos científicos y tecnológicos.

7.5.2 Categorización de los nanomateriales según su naturaleza química

7.5.2.1. Nanomateriales inorgánicos

Los nanomateriales inorgánicos constituyen una categoría fundamental en la nanotecnología, caracterizada por su composición basada en elementos o compuestos inorgánicos a escala nanométrica. Entre estos nanomateriales, las nanopartículas metálicas, la plata, el platino y el oro destacan por sus propiedades únicas derivadas de su tamaño reducido. Estas nanopartículas metálicas exhiben una alta relación superficie-volumen, lo que influye en sus propiedades ópticas, catalíticas y electrónicas (Corpus et al., 2023). Además, nanomateriales inorgánicos como los óxidos semiconductores, por ejemplo, el óxido de zinc (ZnO) y el dióxido de titanio (TiO₂), son esenciales en aplicaciones fotocatalíticas y dispositivos electrónicos, aprovechando sus propiedades semiconductoras a nivel nanométrico.

La versatilidad de los nanomateriales inorgánicos se extiende a otras categorías como las nanopartículas cerámicas, compuestas por materiales como la alúmina (Al₂O₃) y el óxido de silicio (SiO₂), que encuentran aplicaciones en recubrimientos, biomateriales y electrónicas (Ríos, 2022). Estas estructuras inorgánicas a escala nanométrica ofrecen un amplio espectro de

propiedades ajustables, facilitando su adaptación para múltiples aplicaciones en campos como la nanoelectrónica, la catálisis y la medicina. Su manipulación y diseño precisos han abierto nuevas posibilidades en la creación de materiales avanzados con propiedades optimizadas para aplicaciones específicas.

7.5.2.2. Nanomateriales orgánicos

Los nanomateriales orgánicos, caracterizados por su composición carbonosa a escala nanométrica, abarcan una diversidad de estructuras que desempeñan roles clave en la nanotecnología. Los polímeros nanométricos, derivados de cadenas moleculares orgánicas, destacan por su versatilidad (Silva & Medina, 2022). Sintetizados con precisión, estos polímeros pueden ajustar propiedades como la conductividad eléctrica y la solubilidad, convirtiéndolos en candidatos ideales para aplicaciones en dispositivos electrónicos orgánicos, sensores y materiales funcionales de vanguardia.

Entre los nanomateriales orgánicos más destacados se encuentra el grafeno, una lámina de átomos de carbono dispuestos en una estructura hexagonal bidimensional. Este material exhibe características sobresalientes, tales como su alta conductividad eléctrica, una resistencia mecánica extraordinaria y una amplia área superficial (Frenzilli, 2020). El grafeno se ha integrado con éxito en diversas aplicaciones, desde dispositivos electrónicos de alto rendimiento hasta materiales compuestos avanzados y tecnologías de almacenamiento de energía, demostrando su potencial revolucionario en la ingeniería de materiales a escala nanométrica.

Además, las nanoemulsiones, compuestas por gotas nanométricas de líquido dispersas en otro líquido, representan otra faceta crucial de los nanomateriales orgánicos. Estas nanoestructuras ofrecen soluciones innovadoras en la entrega de fármacos y formulación de productos alimentarios (Ríos, 2022). Su capacidad para encapsular eficientemente compuestos bioactivos las convierte en herramientas indispensables en la nanomedicina, facilitando la administración controlada de medicamentos, y en la industria alimentaria, mejorando la estabilidad y biodisponibilidad de ingredientes específicos. La continua investigación en nanomateriales orgánicos promete desvelar nuevas posibilidades en la ciencia de materiales y tecnología aplicada.

7.5.3 Categorización de los nanomateriales según su composición

7.5.3.1. Nanomateriales basados en carbono

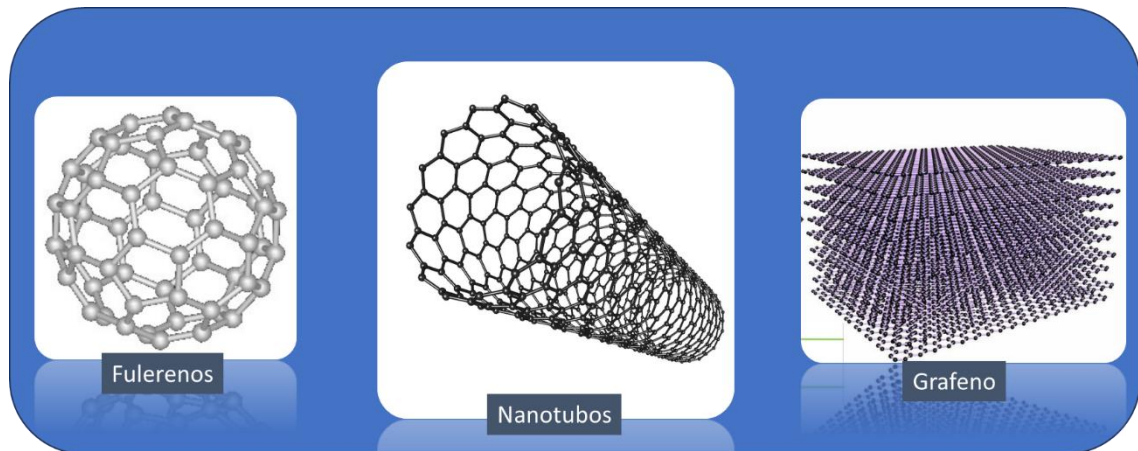
Los nanomateriales basados en carbono abarcan diversas estructuras, cada una con características y usos singulares. Entre estas, el grafeno emerge como una de las formas más fascinantes, conformada por una lámina bidimensional de átomos de carbono organizados en una estructura hexagonal. A pesar de su extrema delgadez, el grafeno exhibe una sorprendente resistencia y ligereza. Además, destaca por su destacada conductividad eléctrica y térmica, lo que lo posiciona como un material prometedor para aplicaciones en electrónica avanzada, incluyendo transistores altamente eficientes y dispositivos de almacenamiento de energía (Santamaría & David, 2020). Asimismo, el grafeno ha demostrado ser valioso en campos como la ingeniería de materiales, donde se emplea para mejorar las propiedades de resistencia y conductividad de polímeros y compuestos.

Los nanotubos de carbono, otra forma destacada, son cilindros formados por láminas de grafeno enrolladas. Su estructura única confiere propiedades mecánicas y conductivas excepcionales (Liébana, 2020). Los nanotubos de carbono han encontrado aplicación en materiales compuestos avanzados, como polímeros reforzados, y muestran potencial en campos como la nanoelectrónica y la nanomedicina. Además, los fullerenos, esferas cerradas de carbono, han sido objeto de interés en aplicaciones biomédicas, actuando como vehículos de entrega de fármacos debido a su capacidad para encapsular moléculas.

La investigación continua en esta área se centra en la síntesis controlada de nanomateriales basados en carbono, explorando nuevas formas y estructuras para adaptarse a diversas aplicaciones (Cardoso, 2023). Este campo dinámico de la nanotecnología sigue siendo un motor de innovación con un potencial significativo en una variedad de sectores.

Figura 3

Nanomateriales basados en carbono



Nota. Tomado de Corpus et al. (2023)

La Figura 3 presenta una detallada exposición de los Nanomateriales basados en carbono, centrándose específicamente en tres categorías prominentes: los Fullerenos, los Nanotubos y el Grafeno. Esta figura proporciona una visión estructurada y descriptiva de estas clases específicas de nanomateriales basados en carbono, resaltando versatilidad en una amplia diversidad de aplicaciones tecnológicas y científicas.

7.5.3.2. Nanomateriales basados en metales

Los nanomateriales fundamentados en metales han emergido como una clase significativa en la nanotecnología, presentando propiedades únicas derivadas de las características intrínsecas de los metales a escala nanométrica. Un ejemplo destacado es la nanoplata, compuesta por partículas de plata a nivel nanométrico (Silva & Medina, 2022). La nanoplata exhibe propiedades antimicrobianas excepcionales, lo que la convierte en un agente eficaz contra una amplia gama de microorganismos. Esta característica ha llevado a su aplicación en el desarrollo de recubrimientos antibacterianos para dispositivos médicos, así como en la fabricación de vendajes avanzados que promueven la cicatrización.

Otro miembro importante de esta categoría es los nanocristales de oro. Estos nanomateriales poseen propiedades ópticas únicas, permitiendo la manipulación de la luz a nivel nanométrico. Esta capacidad los hace esenciales en aplicaciones como la mejora de la fabricación de biosensores altamente sensibles y la eficiencia de las células solares (Santamaría & David, 2020). Su versatilidad se extiende a la nanoelectrónica, donde se utilizan para desarrollar

componentes electrónicos a escalas extremadamente pequeñas, aprovechando las propiedades cuánticas a nivel nanométrico.

La categoría de nanomateriales basados en metales también incluye nanocompuestos de óxidos metálicos. El dióxido de titanio nanométrico, por ejemplo, muestra propiedades fotocatalíticas, lo que significa que puede acelerar reacciones químicas mediante la absorción de luz (Morán & Rodríguez, 2020). Esto se aplica en la purificación del agua, donde estos nanocompuestos se utilizan para eliminar toxinas y mejorar la calidad del agua. La investigación continua en esta área se centra en entender mejor las propiedades y comportamientos específicos de estos nanomateriales, así como en descubrir nuevas aplicaciones innovadoras que puedan beneficiar a diversos sectores.

7.5.3.3. Nanomateriales dendrímeros

Los dendrímeros son macromoléculas ramificadas con una arquitectura altamente ordenada y repetitiva que se asemeja a una estructura en forma de árbol. Su nombre proviene de la palabra griega "dendron", que significa árbol. Estas moléculas tridimensionales presentan un núcleo central desde el cual se extienden ramificaciones en capas concéntricas, generando una estructura en capas similar a las ramas de un árbol (Ríos, 2022). La síntesis de dendrímeros se logra de manera controlada, permitiendo la incorporación precisa de grupos funcionales en cada capa, lo que otorga a estos compuestos propiedades únicas y predecibles.

Una característica distintiva de los dendrímeros es su uniformidad estructural y la posibilidad de controlar su tamaño y forma con precisión. Esto hace que sean herramientas valiosas en campos como la nanotecnología y la medicina. En nanotecnología, los dendrímeros se utilizan para construir nanomateriales y nanopartículas con aplicaciones en catálisis, sensores y dispositivos electrónicos a escala nanométrica (Campaña, 2019). En medicina, su capacidad para cargar moléculas específicas en sus ramificaciones permite la formación de sistemas de gestión de medicamentos altamente eficientes y dirigidos.

La modularidad y la capacidad de diseño de los dendrímeros también han impulsado su uso en la creación de materiales avanzados con propiedades específicas. Su superficie ramificada facilita la interacción con otras moléculas, lo que los convierte en componentes ideales para la creación de polímeros y materiales compuestos (Delgado, 2019). Además, su capacidad para formar complejos supramoleculares ha llevado al desarrollo de dendrímeros que actúan como

transportadores de fármacos, mejorando la solubilidad y la biodisponibilidad de ciertos compuestos. (Ver figura).

Figura 4
Organización estructural de un dendrímero



Nota. Tomado de Ríos (2022)

La Figura 4 presenta de manera detallada la organización estructural de un dendrímero, un polímero ramificado tridimensional con propiedades únicas. En la estructura del dendrímero, se destaca el corazón polifuncional, que constituye el núcleo central a partir del cual se originan las ramificaciones. Asimismo, la figura resalta el punto de bifurcación, que representa el punto de ramificación donde se extienden las generaciones de ramas, creando una estructura dendrítica en capas. Por último, se señalan los grupos periféricos, que constituyen las terminaciones de las ramas y determinan las propiedades químicas y la funcionalidad del dendrímero

7.5.3.4. Nanomateriales compuestos

Los materiales nanométricos son aquellos cuyas dimensiones se sitúan en la escala nanométrica, típicamente dentro del intervalo de 1 a 100 nanómetros. Esta categoría abarca una amplia variedad de materiales, desde nanopartículas inorgánicas hasta nanocompuestos orgánicos, que exhiben propiedades únicas y aplicaciones diversas (Corpus et al., 2023). La manipulación de la estructura y composición de estos compuestos a nivel nanométrico ha llevado al desarrollo de materiales con propiedades mejoradas en relación con sus contrapartes a mayor escala.

En el ámbito de la nanotecnología, los compuestos nanométricos desempeñan un papel crucial en la fabricación de nanomateriales con propiedades específicas. Ejemplos notables incluyen nanotubos de carbono, nanocristales metálicos y nanocompuestos poliméricos (Morán & Rodríguez, 2020). Estos materiales son fundamentales en aplicaciones como la nanoelectrónica, la nanomedicina y la nanociencia, donde las propiedades a nivel nanométrico ofrecen beneficios significativos.

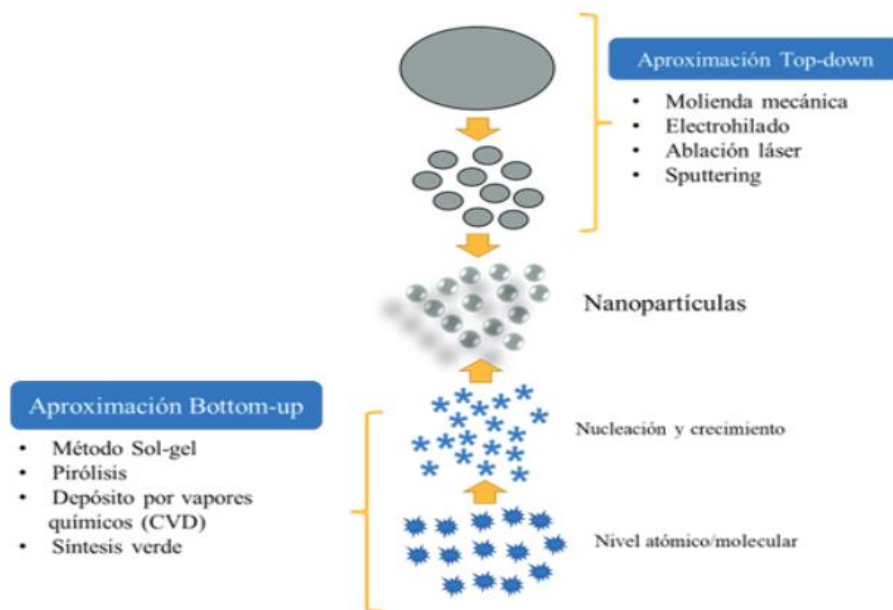
Los compuestos nanométricos también han encontrado aplicaciones en áreas como la energía y el medio ambiente. Por ejemplo, nanopartículas de óxidos metálicos se utilizan en catalizadores para mejorar la eficiencia en reacciones químicas, mientras que nanomateriales porosos encuentran aplicaciones en la captura y almacenamiento de gases contaminantes (Cardoso, 2023). Estos compuestos se destacan por su área superficial elevada y su capacidad para interactuar a nivel molecular, lo que los hace ideales para diversas aplicaciones.

La fabricación y caracterización precisa de compuestos nanométricos presentan desafíos significativos debido a su escala diminuta (Silva & Medina, 2022). Sin embargo, la investigación continua en este campo busca abordar estos desafíos y expandir las posibilidades de los compuestos nanométricos en diversas disciplinas científicas e industriales. La comprensión más profunda de sus propiedades y comportamientos abrirá nuevas oportunidades para la innovación y el avance tecnológico.

7.6. Métodos de síntesis y fabricación de los nanomateriales

Al hacer alusión a los métodos de síntesis, se refiere al conjunto particular de operaciones y procedimientos minuciosos establecidos en un protocolo diseñado para llevarse a cabo en el laboratorio con el fin de obtener nanopartículas caracterizadas por su elevada cristalinidad y pureza. Estos protocolos son redactados y desarrollados tomando como referencia la experiencia adquirida y los resultados obtenidos de diversas investigaciones. Los métodos de síntesis se caracterizan por incluir en sus procesos procedimientos y reacciones químicas que son controladas. Entre las técnicas frecuentemente utilizadas en la producción de nanomateriales se encuentran:

Figura 5
Síntesis de nanomateriales



Nota. Tomado de Gómez et al. (2022)

La figura presenta de manera ilustrativa la síntesis de nanomateriales, resaltando dos enfoques fundamentales: la aproximación "Bottom-up" y la aproximación "Top-down". En la primera se aplican procesos como la pirólisis, la síntesis verde entre otros, mientras que en el segundo se involucra el electrohilado, la molienda mecánica, la ablación láser y el sputtering.

7.6.1. Método Sol-gel

El método sol-gel es una técnica versátil de síntesis que se distingue por su capacidad para producir materiales con propiedades controladas a nivel nanométrico. Este enfoque se inicia con soluciones líquidas o geles que contienen precursores químicos, como alcoholes o ácidos. Estos precursores experimentan procesos de hidrólisis y condensación, llevando a la formación de un gel tridimensional (Gómez et al., 2022). Posteriormente, el gel obtenido se somete a un proceso de secado para eliminar el solvente, y luego a la calcinación, donde se somete a altas temperaturas para eliminar impurezas y consolidar la estructura. Este método ofrece un control preciso sobre la composición química, la morfología y la estructura cristalina del material resultante.

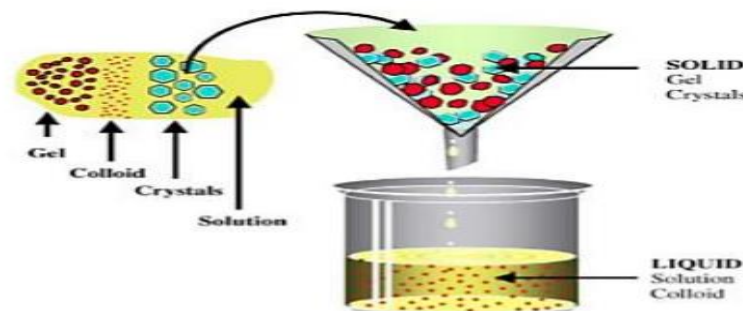
El método sol-gel ha encontrado aplicaciones en diversos campos, como la producción de recubrimientos, películas delgadas, polvos y materiales compuestos (Silva & Medina, 2022). La posibilidad de ajustar las condiciones de síntesis permite obtener nanomateriales con

propiedades específicas, como tamaño de partícula uniforme, alta porosidad, y una distribución controlada de grupos funcionales en la superficie.

Además, este método es especialmente útil para la síntesis de óxidos metálicos, dieléctricos y materiales cerámicos. Su versatilidad lo hace atractivo en la fabricación de dispositivos electrónicos, sensores, catalizadores y otros productos que requieren materiales con propiedades nanométricas bien definidas (Junco, 2023).

El procedimiento que adopta el método sol-gel comienza con la mezcla homogénea de los reactivos, solventes o aditivos implicados en el proceso. Este paso se realiza a temperatura ambiente y emplea un agitador magnético para prevenir la aglomeración en cualquier punto del recipiente.

Figura 6
Esquema del método sol-gel



Nota. Tomado de Borja y Rojas (2020)

La Figura 6 proporciona un esquema detallado del método sol-gel, una técnica altamente versátil de síntesis que se destaca por su habilidad para producir materiales con propiedades controladas a nivel nanométrico. En la fase inicial representada en la figura, se observan los elementos a mezclar, que incluyen un gel, coloides, cristales y una solución. Este proceso marca el inicio de la formación de una matriz precursora que es esencial para la síntesis de materiales nanoestructurados. A medida que progresa, se evidencia la formación de cristales de gel, indicando la transición hacia una estructura más ordenada y definida. Posteriormente, la figura muestra la evolución hacia una solución coloidal, destacando la obtención de una suspensión homogénea de partículas coloidales. Este esquema ilustra claramente la secuencia de transformaciones en el método sol-gel, desde la mezcla inicial hasta la formación de una

solución coloidal, subrayando la capacidad de este método para controlar la estructura y las propiedades de los materiales a escala nanométrica.

7.6.2. Método sólido

El método sólido es una estrategia de síntesis que implica la combinación de sustancias en estado sólido para generar nuevos materiales. En este proceso, los reactivos sólidos se mezclan íntimamente y luego se someten a temperaturas elevadas para provocar reacciones químicas entre ellos. Esta técnica es especialmente común en la síntesis de materiales cerámicos y compuestos inorgánicos. La clave del método sólido radica en la capacidad de los reactivos sólidos para reaccionar entre sí cuando se encuentran en contacto íntimo, lo que facilita la formación de productos deseados. La mezcla sólida se somete a altas temperaturas en un horno, lo que activa las reacciones químicas y conduce a la formación de nuevos compuestos (Borja & Rojas, 2020). Este método ofrece ciertas ventajas, como la simplicidad y la facilidad de escalamiento a nivel industrial. Sin embargo, también presenta desafíos, como la necesidad de alcanzar altas temperaturas para lograr la reacción deseada y la posibilidad de obtener productos con tamaños de partícula no uniformes.

La ejecución óptima del procedimiento demanda adherirse a una secuencia particular de consideraciones. La reacción se ejecuta en un recipiente sellado herméticamente, donde se despliega una serie de reacciones orgánicas secuenciales en fase sólida, encapsulando partículas con subunidades selectivas unidas de manera covalente (Silva & Medina, 2022). Estas subestructuras comprenden un grupo protector que se puede extraer de manera selectiva, el cual está ligado covalentemente a un conjunto funcional reactivo de la subunidad.

El procedimiento se inicia mediante la generación de las primeras partículas y subunidades, las cuales, mediante conjuntos funcionales, inducen una serie de reacciones progresivas en lo que se denomina el proceso de iniciación (Salcedo & Horcajada, 2020). A medida que avanza la reacción, se forma grupos protectores que se eliminan para generar un medio de síntesis con subunidades ligadas que contienen partículas con conjuntos funcionales libres. Se combinan con un excedente de subunidades similares, las cuales poseen un grupo funcional con capacidad de reaccionar con los grupos reactivos disponibles en las subunidades unidas a las partículas, así como otro grupo funcional reactivo protegido covalentemente.

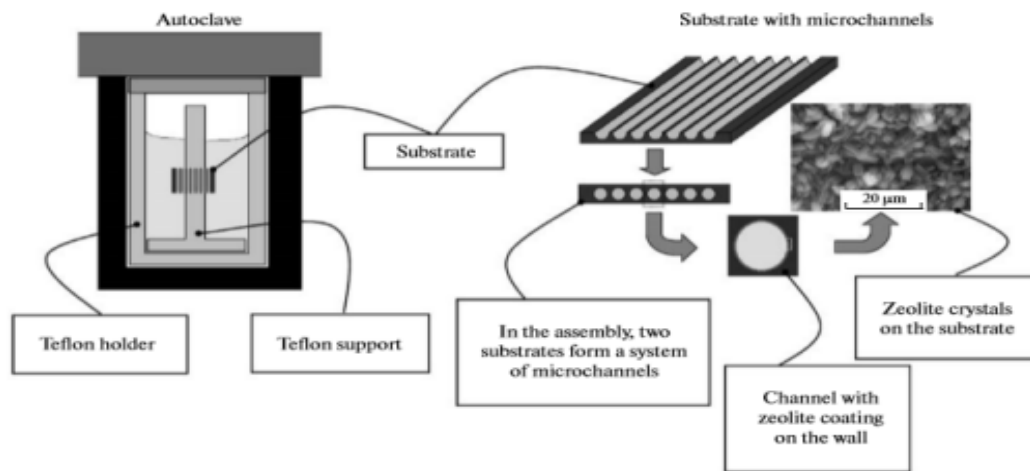
Los grupos funcionales libres y activos se combinan y reaccionan para generar enlaces covalentes, dando lugar a la formación de productos de reacción unidos a las partículas. Las subunidades no reactivas se desvinculan de las subunidades acopladas para formar nuevos compuestos que contienen grupos funcionales libres, repitiendo este proceso iterativamente hasta obtener productos con identidad y características específicas (Ancco, 2019). Al concluir el procedimiento, los productos de reacción desprendidos se segregan de las partículas reaccionadas, y se recobran los productos de reacción desprendidos de manera libre.

7.6.3. Método Hidrotérmico

Este método, centrado en mejorar la uniformidad y regularidad de la mesoestructura de los nanomateriales, se destacan por su capacidad para controlar el tamaño de partícula, la morfología y la valencia elemental de los materiales sintéticos. Operan en conjunto con los métodos sol-gel, aprovechando el crecimiento, la reorganización, y cristalización de las nanopartículas después de la preparación de la solución (Borja & Rojas, 2020). La aplicación de temperatura es esencial en esta etapa y generalmente oscila entre 80 y 130°C, aunque en situaciones más exigentes se puede elevar hasta 300°C. La elección de la temperatura está condicionada por el tiempo de digestión utilizado y del tipo de nanomaterial deseado.

Es importante señalar que temperaturas más elevadas, como aquellas que superan los 300°C, han mostrado efectos no deseados, dado que durante el transcurso del proceso se desencadenan otras reacciones que restringen la eficiencia y conducen a la obtención de nanomateriales no cristalinos (Andrade, 2022). Por lo tanto, el control preciso de la temperatura y el tiempo de digestión son aspectos críticos para garantizar la calidad y la cristalinidad de los nanomateriales producidos.

Figura 7
Esquema de una síntesis hidrotérmica



Nota. Tomado de Borja y Rojas (2020)

La Figura 7 presenta un esquema ilustrativo de una síntesis hidrotérmica, destacando los recursos fundamentales utilizados en este proceso. En primer plano, se visualiza un autoclave, instrumento crucial en la síntesis hidrotérmica, que proporciona condiciones de temperatura y presión controladas. El sustrato con microcanales también está representado, indicando la plataforma sobre la cual se llevará a cabo la síntesis. Esta configuración permite la creación de nanoestructuras en entornos confinados, optimizando la formación de materiales a escala nanométrica. La figura se completa con una imagen a escala nanométrica de cristales de zeolita, resaltando la capacidad de la síntesis hidrotérmica para generar nanoestructuras cristalinas de manera controlada.

7.6.4. Método solvo-térmico

Es una técnica que se emplea en la síntesis de nanomateriales para lograr un control preciso sobre su morfología, tamaño de partícula y otras propiedades. Este método implica la disolución de los precursores en un solvente adecuado, seguido de la aplicación de calor para promover la reacción química y la formación de los nanomateriales deseados (Borja & Rojas, 2020).

En una primera etapa, los precursores se disuelven en un solvente, formando una solución homogénea. Luego, se aplica calor para inducir la reacción química entre los precursores y la formación de los nanomateriales. La temperatura y el tiempo de reacción son factores cruciales que determinan las propiedades finales de los nanomateriales sintetizados (Andrade, 2022). La

ventaja del método solvo-térmico radica en su capacidad para controlar la cinética de reacción y la nucleación, lo que contribuye a obtener nanomateriales con características específicas. Sin embargo, es esencial optimizar las condiciones de síntesis para garantizar la reproducibilidad y la calidad de los nanomateriales producidos.

7.6.5. Método de oxidación directa

El método de oxidación directa es una estrategia empleada en la síntesis de nanomateriales, específicamente en la producción de nanotubos de carbono. Este proceso se inicia con un precursor carbonoso, generalmente un hidrocarburo, que es sometido a una reacción de oxidación controlada para dar lugar a la formación de nanotubos de carbono (Borja & Rojas, 2020). En la primera etapa de este método, el precursor carbonoso se expone a un agente oxidante en condiciones específicas de temperatura y tiempo. Estos parámetros son cruciales para dirigir la organización de los átomos de carbono de manera precisa y formar la estructura cilíndrica característica de los nanotubos.

La temperatura desempeña un papel fundamental, ya que afecta la velocidad de la reacción y la calidad del producto final. Se busca un equilibrio para obtener nanotubos con propiedades deseadas (Ancco, 2019). El tiempo de reacción también se ajusta para lograr una conversión eficiente del precursor al nanomaterial. Este método destaca por su simplicidad relativa y la capacidad de obtener nanotubos de carbono con una alta pureza. La estructura cilíndrica única de los nanotubos es esencialmente el resultado de la disposición ordenada de átomos de carbono inducida por el proceso de oxidación controlada.

A pesar de su eficacia, es crucial ajustar cuidadosamente las condiciones de reacción, ya que variaciones en la temperatura o el tiempo pueden influir significativamente en las propiedades y la calidad de los nanotubos sintetizados.

7.6.6. Método de deposición química de vapor

El método de CVD (*Carbon Vapor Deposition*), conocido por sus siglas en inglés, es una técnica de deposición química que se utiliza para la producción de nanomateriales basados en carbono (Borja & Rojas, 2020). Este método ofrece un control preciso sobre la cristalinidad y pureza de los materiales obtenidos, siendo particularmente efectivo para la síntesis de

nanoalótopos de carbono, tales como fullerenos, nanodiamantes, grafenos y nanotubos de carbono (CNT), entre otros.

La ejecución del proceso se lleva a cabo en un horno tubular estático, cuya temperatura se controla cuidadosamente, generalmente en el rango de 500 a 1000 grados Celsius (Ruiz, et al., 2021). Inicialmente, se introduce un gas inerte en el sistema durante un periodo específico, y luego se activan las válvulas para permitir el flujo de un agente precursor, como acetonitrilo o etileno gaseoso. La duración de la deposición varía según la técnica utilizada y los precursores empleados.

Durante el proceso de CVD, se promueve la formación de nanomateriales a través de la reorganización, crecimiento y cristalización de las nanopartículas. La temperatura de operación es crucial y puede oscilar entre 500 y 1000 Grados Celsius, aunque en casos más exigentes se pueden emplear temperaturas de hasta 3000 Grados Celsius (Silva & Medina, 2022). Se ha observado que temperaturas más altas pueden inducir otras reacciones que pueden afectar la eficiencia del proceso y resultar en la obtención de nanomateriales no cristalinos.

Finalizado el proceso de deposición, es fundamental realizar un lavado repetido del material obtenido con ácidos para eliminar cualquier residuo de material orgánico que pueda haber quedado en la muestra. Este paso contribuye a garantizar la pureza del nanomaterial producido (Ruiz, et al., 2021). La versatilidad y control preciso de este método lo convierten en una herramienta fundamental para la obtención de nanomateriales con propiedades específicas y deseables en diversas aplicaciones tecnológicas y científicas.

7.6.7. Método de deposición física de vapor

El método de deposición física de vapor (PVD) es una técnica avanzada empleada en la síntesis y producción de nanomateriales. Esta metodología se centra en depositar material en estado vapor sobre un sustrato, generando una película delgada (Seminario, 2022). El proceso inicia con la evaporación o sublimación del material original, llevándolo al estado de vapor. Este vapor se dirige hacia el sustrato ubicado en la misma cámara de vacío, donde se condensa y forma la capa final del nanomaterial.

Durante la ejecución del PVD, se calienta el material de partida en un ambiente de vacío controlado. La evaporación térmica, la pulverización catódica y la deposición química de vapor asistida por haz de electrones son algunas de las variantes de esta técnica, cada una con particularidades que influyen en las propiedades del nanomaterial resultante (Borja & Rojas, 2020). Aunque el PVD es comúnmente utilizado para crear recubrimientos delgados, también se puede adaptar para la síntesis de nanopartículas, dependiendo de las condiciones específicas del proceso.

Esta técnica se aplica en diversas áreas, desde la fabricación de dispositivos electrónicos hasta la creación de recubrimientos resistentes al desgaste en herramientas y componentes industriales (Seminario, 2022). Su versatilidad y capacidad para producir materiales delgados con propiedades específicas hacen del PVD una herramienta valiosa en el ámbito de la nanotecnología y la ingeniería de materiales.

7.6.8. Método de electrodeposición

El método de electrodeposición, también conocido como electro depósito, es una técnica fundamental en la síntesis de nanomateriales, destacando por su capacidad para producir recubrimientos metálicos y nanoestructuras con alta precisión. Este proceso se basa en la aplicación de una corriente eléctrica para depositar material sobre un electrodo, controlando así la formación de capas a nivel atómico o molecular (Silva & Medina, 2022).

En la electrodeposición, se sumerge el electrodo (un sustrato conductor) en una solución que contiene iones del material a depositar. Al aplicar una corriente eléctrica, los iones presentes en la solución migran hacia el electrodo y se depositan en su superficie (Nath, 2021). La cantidad de material depositado se controla mediante la duración y la intensidad de la corriente eléctrica, permitiendo ajustar las propiedades del recubrimiento final.

Este método ofrece ventajas significativas, como la capacidad para producir capas uniformes y conformadas a la geometría del sustrato. Además, es ampliamente utilizado en la fabricación de dispositivos microelectrónicos, sensores y componentes nanoestructurados (Borja & Rojas, 2020). La electrodeposición se aplica en la industria para mejorar la resistencia a la corrosión, modificar propiedades superficiales y crear nanoestructuras con aplicaciones específicas en diversos campos tecnológicos. Su versatilidad y precisión hacen de la electrodeposición una técnica esencial en la nanotecnología y la ingeniería de materiales.

7.6.9. Síntesis por microondas

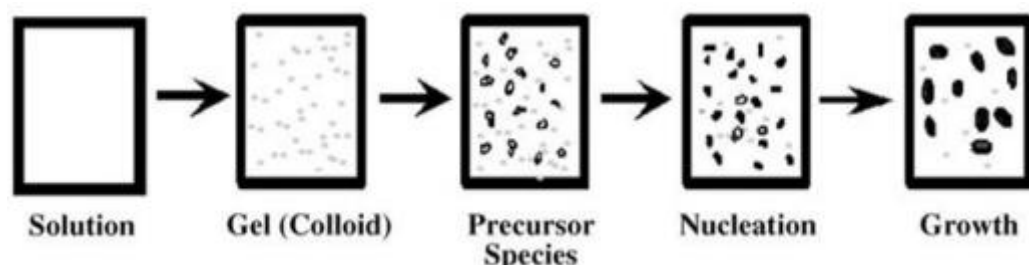
La síntesis por microondas es una técnica de síntesis química que utiliza radiación de microondas para calentar los reactantes y llevar a cabo reacciones químicas. Este método se ha vuelto popular en la síntesis de nanomateriales debido a su eficiencia y velocidad en comparación con los métodos convencionales (Zarazua et al., 2023). La aplicación de microondas permite calentar los reactantes de manera rápida y uniforme, lo que conduce a una mayor velocidad de reacción y a la obtención de productos con propiedades mejoradas.

En este proceso, los reactantes se colocan en un recipiente adecuado que permite la absorción eficiente de las microondas. La radiación de microondas genera calor directamente en los reactantes, lo que acelera las reacciones químicas. La síntesis por microondas ha demostrado ser particularmente útil en la preparación de nanomateriales, como nanopartículas, nanocompuestos y nanotubos, debido a la capacidad de controlar la temperatura y el tiempo de reacción con precisión (Zarazua et al., 2023).

Las ventajas de la síntesis por microondas incluyen tiempos de reacción reducidos, mayor pureza del producto y la posibilidad de llevar a cabo reacciones a alta temperatura sin dañar los materiales (Cruz, 2021). Este método ha encontrado aplicaciones en diversas áreas, como la síntesis de catalizadores, materiales magnéticos y compuestos semiconductoras, contribuyendo significativamente al avance de la nanotecnología y la investigación de materiales avanzados.

Figura 8

Esquema de síntesis por microondas



Nota. Tomado de Borja y Rojas (2020)

La Figura 8 detalla un esquema de síntesis por microondas, destacando las etapas fundamentales del proceso. En la fase inicial, se observa la disposición de la solución, seguida por la formación de un gel que actúa como matriz precursora. Las especies precursoras presentes en la solución

representan los componentes clave que participarán en la síntesis, señalando la importancia de la composición química en el resultado final. La figura ilustra también la etapa de nucleación, donde los primeros núcleos de la nueva fase comienzan a formarse. A medida que progresa el esquema, se destaca el crecimiento de estas estructuras a partir de la nucleación, evidenciando la evolución y expansión del material sintetizado.

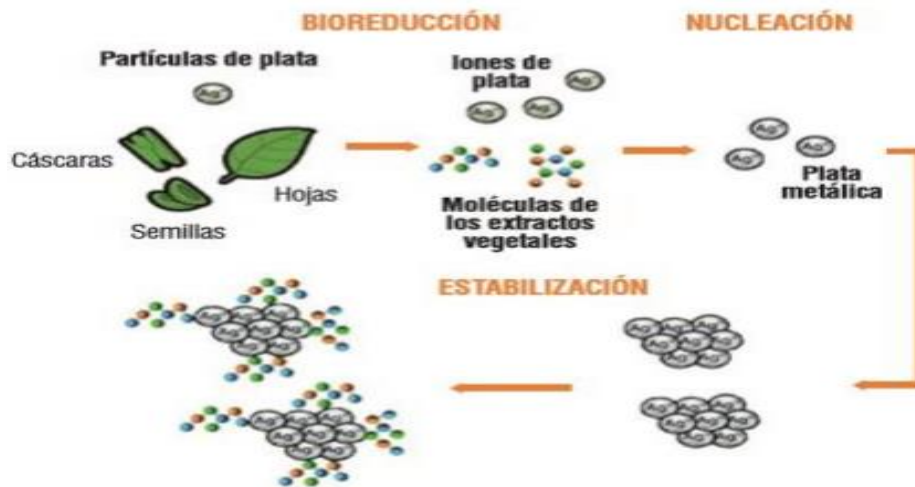
7.6.10. Síntesis verde

La síntesis verde en la nanotecnología ha emergido como una estrategia vanguardista que busca transformar radicalmente la forma en que se producen los nanomateriales, alineándose con los principios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental (Pilaquina, et al., 2019). Este enfoque innovador implica la utilización de agentes biológicos, como algas, plantas, diatomeas, hongos, entre otros, en lugar de los reactivos químicos convencionales, para la generación de nanopartículas. La clave reside en aprovechar las capacidades naturales de estos organismos, que actúan como agentes estabilizadores y reductores durante el proceso de síntesis.

Lo distintivo de la síntesis verde radica en su compromiso con la reducción de la huella ambiental asociada con la producción de nanomateriales. Al eliminar en gran medida la dependencia de compuestos químicos tóxicos, este enfoque contribuye significativamente a la minimización de residuos peligrosos y a la mitigación de riesgos ambientales (Vázquez, 2023). Además de los beneficios medioambientales, la síntesis verde busca optimizar la eficiencia del proceso, disminuyendo el consumo de energía y permitiendo un control más preciso sobre las propiedades de las nanopartículas resultantes.

En términos prácticos, la síntesis verde representa un cambio de paradigma en la producción de nanomateriales, al integrar de manera armoniosa la nanotecnología con los principios de sostenibilidad. Este enfoque no solo impulsa la evolución técnica en la generación de nanomateriales, sino que también abre nuevas posibilidades para aplicaciones tecnológicas y biomédicas, donde las propiedades específicas de las nanopartículas desempeñan un papel crucial. En última instancia, la síntesis verde destaca como un camino hacia la innovación sostenible y el desarrollo responsable en el campo de la nanotecnología.

Figura 9
Esquema de síntesis verde



Nota. Tomado de Borja y Rojas (2020)

La Figura 9 presenta un esquema detallado de un proceso de síntesis verde, destacando tres fases cruciales en la transformación de partículas de palta en plata metálica. La primera fase, la biorreducción, luego, en la fase de estabilización, la de nucleación. Se muestra además el inicio de la formación de las partículas de plata metálica a partir de los iones previamente reducidos. En conjunto, este esquema ilustra visualmente la transformación de partículas de palta en plata metálica, resaltando la eficacia y sostenibilidad de la síntesis verde en la producción de nanomateriales.

Por otro lado, la elaboración de nanomateriales se realiza mediante dos enfoques principales: métodos top-down, que implican bottom-up y la molienda del material a granel, que comprenden la generación a partir de la nucleación seguida del aumento de las partículas mediante coagulación y condensación. Los métodos bottom-up, especialmente en fase coloidal o gaseosa, son los más prevalentes en la fabricación de nanomateriales (García, 2020).

En los procedimientos en fase gaseosa, los nanomateriales son producidos en un reactor a elevada temperatura mediante la inyección de material de partida, ya sea sólido, líquido o gaseoso. Esto incluye la técnica de deposición del vapor químico en reactores, donde la exposición a nanomateriales puede ocurrir durante la limpieza y recuperación del reactor, así como debido a posibles fugas. Por otro lado, en los métodos en coloidal, los nanomateriales se conforman en disolución por medio de reacciones químicas (Silva & Medina, 2022). Pueden persistir en una suspensión líquida o transformarse en polvo mediante técnicas como secado por pulverización o filtración. La exposición se puede dar en operaciones como la pulverización

de la limpieza de equipos, suspensión, manipulación y recogida de derrames de materiales en forma de polvo.

Después de la síntesis, pueden llevarse a cabo operaciones adicionales como caracterización, purificación o modificación con recubrimientos superficiales. Durante estas operaciones, las exposiciones son más probables durante el manejo del material en forma pulverizada, en tareas como pesaje, mezcla y envasado (Molina, 2021). Los nanomateriales pueden comercializarse como disoluciones líquidas o polvos, y durante el envasado, las exposiciones pueden ocurrir durante actividades relacionadas con la manipulación del material.

7.7. Nanomateriales Sostenibles

Los materiales nanosostenibles representan una innovación significativa en la convergencia de la nanotecnología y la sostenibilidad, abordando desafíos ambientales y sociales con aplicaciones diversas en diferentes sectores (Acuña & González, 2021). Un ejemplo destacado es el uso de nanopartículas de sílice, que encuentran aplicación en la manufactura alimentaria, el tratamiento de aguas y la agricultura. Su enfoque se centra en mejorar la eficiencia en la desvinculación de nutrientes y en la eliminación de contaminantes, colaborando así a prácticas más sostenibles en la producción de alimentos y la gestión del agua.

Otro grupo relevante son las nanopartículas de TiO_2 , que se utilizan en recubrimientos y pinturas con propiedades autolimpiantes y descontaminantes, así como en protectores solares debido a su capacidad para bloquear la radiación UV. En el ámbito de la electrónica y la fabricación de materiales compuestos, los nanomateriales a base de carbono, como los nanotubos y el grafeno, ofrecen soluciones más ligeras y resistentes, impulsando la sostenibilidad en la industria.

Las aplicaciones de nanomateriales se extienden a la remediación ambiental, donde las nanopartículas de magnetita facilitan la recuperación de suelos contaminados y aguas subterráneas (Valenzuela, et al., 2023).

Además, en el contexto de higiene y salud, las nanopartículas de plata son clave en textiles antimicrobianos y recubrimientos antibacterianos, reduciendo el riesgo de enfermedades y minimizando el uso de productos químicos (Vázquez, 2023). Otros ejemplos incluyen la nanocelulosa en envases sostenibles y productos biomédicos, así como los óxidos metálicos y

las nanopartículas de cobre en aplicaciones como protectores solares y fertilizantes agrícolas, respectivamente. Estos casos ejemplifican la diversidad y el impacto positivo de los materiales nanosostenibles en la difusión de prácticas consideradas con el ambiente.

7.8. Características de nanomateriales sostenibles

Los nanomateriales sostenibles poseen características específicas que los distinguen por su enfoque hacia la sostenibilidad ambiental y social. Estas características contribuyen a su aplicación en diversos sectores, promoviendo prácticas más respetuosas con el medio ambiente y ofreciendo soluciones innovadoras. Algunas de las características clave incluyen según Montero (2023) son las siguientes:

- a) **Baja toxicidad:** Los nanomateriales sostenibles están diseñados para minimizar la toxicidad tanto para el medio ambiente como para la salud humana. Se busca evitar el uso de elementos nocivos y sustancias químicas perjudiciales en su composición.
- b) **Biodegradabilidad:** La capacidad de descomposición natural es una característica importante. Los nanomateriales sostenibles tienden a ser biodegradables, lo que reduce su impacto ambiental a largo plazo y contribuye a la gestión sostenible de los residuos.
- c) **Eficiencia en el uso de recursos:** Se prioriza la eficiencia en el uso de recursos durante la síntesis y producción de nanomateriales. Esto implica la minimización de residuos, el uso responsable de materias primas y la optimización de procesos para reducir la huella ambiental.
- d) **Aplicaciones multidisciplinarias:** Los nanomateriales sostenibles se diseñan con propiedades que permiten aplicaciones versátiles en diversos sectores. Esto incluye la medicina, la agricultura, la industria alimentaria, la energía y otros campos, lo que amplía su potencial impacto positivo.
- e) **Efectos ambientales controlados:** Se busca comprender y controlar los posibles efectos ambientales de los nanomateriales. Esto implica estudios exhaustivos sobre la interacción de los nanomateriales con el entorno y la implementación de medidas para mitigar cualquier impacto negativo.
- f) **Eficiencia energética:** En aplicaciones como la construcción y la electrónica, los nanomateriales sostenibles a menudo se diseñan para mejorar la eficiencia energética. Esto puede incluir propiedades termoaislantes, conductividad eléctrica mejorada y otras características que contribuyen a la sostenibilidad energética.

- g) **Fuente renovable:** Cuando es posible, se busca utilizar fuentes renovables en la síntesis de nanomateriales sostenibles. Esto puede incluir la derivación de materiales a partir de recursos naturales renovables, contribuyendo a la disminución de la dependencia de materias de primera no renovables.

7.9. Nanomateriales biodegradables y ecoamigables

Los nanomateriales biodegradables y ecoamigables son sustancias diseñadas con el propósito específico de minimizar su impacto ambiental y promover prácticas sostenibles. Estos materiales exhiben propiedades clave, como biodegradabilidad y renovabilidad, lo que significa que pueden descomponerse naturalmente en componentes no perjudiciales para el medio ambiente (Valenzuela, et al., 2023). Ejemplos notables incluyen la nanocelulosa, derivada de fuentes renovables como la pulpa de madera, y las nanopartículas de sílice, obtenidas de fuentes abundantes como la arena.

La aplicación de estos nanomateriales abarca diversos sectores, desde envases sostenibles hasta productos biomédicos, representando un avance significativo hacia la adopción de tecnologías más respetuosas con el entorno (Castro, 2019). Estos nanomateriales ofrecen soluciones innovadoras que buscan equilibrar las necesidades humanas con la conservación de la biodiversidad y la salud del planeta.

La característica distintiva de los nanomateriales biodegradables y ecoamigables radica en su capacidad para integrarse de manera armoniosa con los ciclos naturales, reduciendo así la acumulación de residuos no degradables. Al provenir de fuentes renovables y ser concebidos con un enfoque ambiental consciente, estos nanomateriales buscan transformar la manera en que se desarrollan y utilizan los materiales en la industria, promoviendo un equilibrio más sostenible entre la innovación tecnológica y la preservación del entorno.

7.10. Normativas y estándares en sostenibilidad nanotecnológica

La ISO, una entidad no gubernamental y privada, destaca como la principal creadora y difusora de estándares internacionales voluntarios. En su enfoque, estas normas contribuyen a hacer más eficientes, seguros y sostenibles la fabricación, el desarrollo, y la provisión de productos y servicios. Además, facilitan el comercio internacional, fomentando la equidad y brindando a los gobiernos una base estratégica para la legislación en áreas como entorno natural, seguridad

y salud, así como para evaluar su aceptación. Demasiadas agencias de normalización nacionales adoptan los estándares ISO, utilizándolos como base para elaborar sus propias normas técnicas nacionales, un ejemplo de ello es México (Páez, 2022). La ISO opera con diversos comités técnicos especializados en distintos departamentos y con una asamblea general y, donde representantes de empresas privadas autoridades nacionales y otros delegados de países miembros favorecen en la producción de los estándares correspondientes.

En relación con las normas para la nanotecnología, la ISO sostiene que la estandarización internacional desempeña una función crucial para asegurar la realización plena del potencial de la nanotecnología y para integrarla de manera segura en la sociedad. Los estándares desempeñarán un papel fundamental en facilitar una transición suave desde el ámbito de laboratorio hasta el mercado, promoverán el progreso a lo largo de la cadena de valor de la nanotecnología, desde los materiales de nanoescala que componen los elementos básicos hasta la incorporación de estos dispositivos en sistemas funcionales. Además, los estándares contribuirán a facilitar el comercio global en este campo en constante evolución. En el ámbito de la ISO, la labor y los debates acerca de la normalización en el campo de la nanotecnología son llevados por el comité técnico 229 (ISO/TC-229), el cual fue establecido en el año 2005. Entre las responsabilidades de este comité se encuentran según Saldívar (2020) las siguientes:

- a) Apoyar el desarrollo sostenible y ético, así como la difusión a nivel global de estas tecnologías emergentes.
- b) Facilitar el comercio internacional de nanotecnologías, productos derivados de la nanotecnología y productos y sistemas fundamentados en las nanotecnologías.
- c) Mejorar la calidad, seguridad, protección del consumidor y del medio ambiente, así como la gestión adecuada de los recursos naturales en el contexto de las nanotecnologías.
- d) Fomentar buenas prácticas relacionadas con la fabricación, uso y disposición de nanomateriales, productos de nanotecnología y productos y sistemas basados en las nanotecnologías.

A continuación, se observa los cargos del comité técnico 229 (ISO/TC-229), (Ver Tabla 4).

Tabla 4*Organización ISO/TC 229*

Grupos	Área	Funciones
WG1 2006	Terminología y nomenclatura.	Apoyar la investigación, la comercialización y el comercio de
WG2 2006	Mediciones y caracterización.	materiales y productos a nanoescala, estimulando el crecimiento a través de la uniformidad de las métricas y la terminología.
WG3	Ambiente, salud y seguridad.	Mejorar la seguridad en el trabajo y la protección del consumidor y del medio ambiente, promover buenas prácticas en la producción, el uso y la eliminación de nanomateriales, productos de nanotecnología y productos y sistemas habilitados para la nanotecnología.
WG4 2008	Especificaciones de los materiales.	
TG1	Medidas y caracterización para el ambiente, la salud y la seguridad.	
TG2 2009	Consumidores y dimensiones sociales de las NTs.	Asesorar y asegurar que el TC 229 tenga mecanismos para recibir información de los consumidores y otras comunidades de la sociedad.
TG5 2008	Nanotecnología y sustentabilidad.	Asesora sobre cómo incluir la sostenibilidad como una prioridad estratégica y cómo las normas pueden contribuir a la implementación exitosa de soluciones de sostenibilidad.
WG5	Productos y aplicaciones	

Nota. Tomado de Saldivar (2020)

La tabla 4 especifica seis principales grupos que se destacan en la ISO/TC 229, estos parten desde lo correspondiente a la estandarización de terminología y nomenclatura, hasta proyectar la forma como debe considerarse aspectos sostenibles en el proceso de generación de productos a nano escala. Como puede apreciarse existen roles particulares de modo que haya un mejor abordaje en el proceso investigativo y de generación de nanomateriales y productos derivados de estos.

7.11. Nanomateriales inteligentes

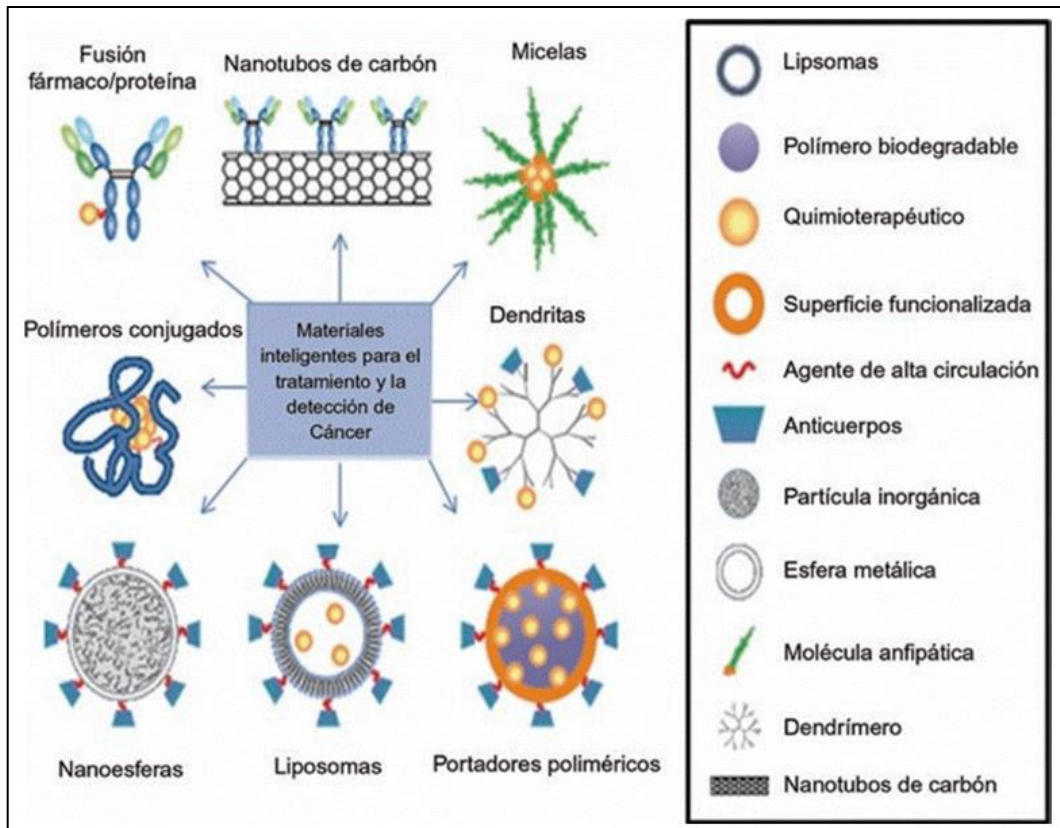
Los "nanomateriales inteligentes" constituyen una vanguardia tecnológica caracterizada por su capacidad singular para reaccionar de manera dinámica a señales específicas o comandos, exhibiendo cambios notables en sus propiedades físicas, que abarcan desde el tamaño y la forma hasta el color, densidad y otras características intrínsecas (Borja & Rojas, 2020). La denominación "inteligente" se atribuye a su habilidad excepcional para adaptarse y ajustarse en tiempo real a estímulos diversos, marcando un hito en la convergencia entre la nanotecnología y la ingeniería de materiales.

Un ejemplar destacado de estos nanomateriales inteligentes se materializa en las denominadas "pinturas inteligentes". Estas pinturas, impulsadas por innovaciones en nanotecnología, presentan la capacidad extraordinaria de modificar la refracción de la luz a través de una reorganización precisa de los átomos constituyentes (Morán & Rodríguez, 2020). Este fenómeno posibilita cambios visuales notables, incluyendo alteraciones en el color y otras propiedades ópticas, proporcionando así una respuesta dinámica a las condiciones ambientales cambiantes.

La sinergia entre la nanotecnología y estos nanomateriales inteligentes abre horizontes prometedores en diversos campos, desde la fabricación de dispositivos electrónicos avanzados hasta aplicaciones médicas y más allá (Borja & Rojas, 2020). Su capacidad para adaptarse y transformarse controladamente frente a estímulos específicos establece un nuevo paradigma en la interacción entre la humanidad y los materiales en el entorno cotidiano, promoviendo la innovación y el desarrollo de tecnologías de última generación.

Figura 10

Nanomateriales inteligentes utilizados como portadores y dosificadores de fármacos en el tratamiento y la detección de cáncer



Nota. Tomado de Loera et al. (2021)

La Figura 10, proporciona un esquema detallado de nanomateriales inteligentes utilizados como portadores y dosificadores de fármacos en el tratamiento y detección del cáncer. En este contexto, se destacan diversas categorías de nanomateriales diseñados para mejorar la eficacia de los tratamientos oncológicos. Entre estas categorías se incluyen aquellas que generan la fusión fármaco-proteína, aprovechando la capacidad de ciertos nanomateriales para interactuar específicamente con proteínas clave en el cáncer. Además, se mencionan micelas, dendritas, liposomas, nanoesferas y otras estructuras nanométricas.

7.12. Nanomateriales activos

Los nanomateriales activos son una categoría especial de materiales que incorporan componentes clave como sensores, actuadores y ordenadores a escala nanométrica. Estos materiales poseen la capacidad única de interactuar y controlar su entorno de manera dinámica (Sun, 2019). La integración de sensores les permite detectar cambios específicos en su entorno,

ya sea en términos de temperatura, presión, o cualquier otra variable mensurable a nivel nanométrico.

La presencia de actuadores en los nanomateriales activos les confiere la capacidad de llevar a cabo acciones específicas en respuesta a las señales detectadas por los sensores. Estas acciones pueden incluir cambios en la forma, tamaño, densidad, o cualquier propiedad física relevante del material (Martínez, et al., 2020). La característica más destacada de los nanomateriales activos es su capacidad para procesar la información recopilada y tomar decisiones autónomas utilizando ordenadores en escala nanométrica. Este nivel de funcionalidad les permite adaptarse de manera dinámica a su entorno, convirtiéndolos en herramientas valiosas para una variedad de aplicaciones, desde dispositivos médicos hasta sistemas de monitoreo ambiental avanzados. La capacidad de estos materiales para trabajar colectivamente como enjambres de nanomáquinas también destaca su versatilidad y potencial revolucionario en la nanotecnología.

7.13. Nanotecnología y medio ambiente

Debido al aumento de la población mundial, el consumo de energía y materiales está creciendo, lo que está llevando a consecuencias ambientales como el aumento en la producción de residuos sólidos, aumento en la contaminación del aire causada por vehículos y plantas industriales, y la polución de las aguas subterráneas y superficiales. La nanotecnología tiene el potencial de mejorar el medio ambiente a través de la aplicación directa de nanomateriales para, prevención, la detección y eliminación de toxinas, y la aplicación indirecta de ellos mediante un mejor proceso de diseño industrial y la producción de productos compatibles con el medio ambiente (Taran, et al., 2021).

En el tratamiento del agua, la nanotecnología ha revolucionado la purificación y descontaminación utilizando los nanomateriales como las nanopartículas de óxido de hierro en sistemas avanzados de filtración y los nanotubos de carbono y eliminación de contaminantes. Estos nanomateriales pueden adsorber eficientemente sustancias químicas tóxicas y metales pesados del agua, proporcionando una vía efectiva para la preservación de fuentes de agua dulce y la preservación de la salud pública (Martínez, et al., 2021).

En el ámbito medioambiental, se destacan varios enfoques y aplicaciones de nanotecnología, como el empleo de nanomateriales para la depuración del agua y la eliminación de

contaminantes, así como para la rehabilitación de suelos contaminados por metales densos y otras sustancias tóxicas. También se menciona el uso de nanomateriales para la detección y eliminación de uranio en aguas residuales nucleares y la reducción de emisiones de hidrocarburos no quemados en vehículos (Frenzilli, 2020).

Si bien la nanotecnología ofrece numerosos beneficios para la modernización de las industrias, también plantea desafíos y preocupaciones ambientales. Por ejemplo, la producción y eliminación de nanomateriales deben gestionarse de manera responsable para evitar la contaminación ambiental. Además, es esencial investigar y entender los posibles efectos ambientales a largo plazo de los nanomateriales utilizados en la fabricación y producción industrial (Malik, et al., 2023).

7.13.1. Impacto de la nanotecnología en la salud ambiental

La integración creciente de la nanotecnología en diversos sectores ha suscitado un interés significativo en comprender su impacto en la salud ambiental. A medida que se desarrollan y aplican nanomateriales en áreas como la energía, medicina y la industria, es esencial evaluar cómo estos pueden influir en los ecosistemas y la salud general del medio ambiente (Ojeda, 2023). A continuación, se exploran diversas perspectivas y consideraciones relacionadas con el impacto de la nanotecnología en la salud ambiental.

- **Liberación de Nanopartículas:** La liberación de nanopartículas durante la producción y aplicación de nanomateriales plantea preocupaciones sobre su potencial impacto en el agua, suelo y aire. La movilidad de estas partículas y su capacidad para interactuar con organismos en entornos naturales requieren una evaluación cuidadosa para comprender las posibles implicaciones ambientales.
- **Toxicidad y Efectos en la Biodiversidad:** La toxicidad de ciertos nanomateriales puede afectar a organismos acuáticos, terrestres y aéreos. Evaluar cómo estas sustancias influyen la biodiversidad y las cadenas alimentarias es esencial para prever y mitigar posibles efectos adversos.
- **Aplicaciones en la Biorremediación:** La nanotecnología tiene un papel prometedor en la biorremediación, utilizando nanomateriales para eliminar contaminantes y restaurar áreas afectadas. Estas aplicaciones pueden ofrecer soluciones efectivas para abordar problemas ambientales y mejorar la calidad del suelo y del agua.

- **Evaluación de Riesgos:** La evaluación de riesgos es esencial para comprender y gestionar los posibles impactos negativos de la nanotecnología en la salud ambiental. Esto incluye la identificación de escenarios de exposición y la evaluación de la persistencia y movilidad de los nanomateriales en diversos entornos.

7.13.2. Nanotecnología en procedimientos medioambientales de biorremediación

La nanotecnología desempeña un papel destacado en los procedimientos medioambientales de biorremediación al ofrecer soluciones innovadoras para abordar la contaminación. En este contexto, la aplicación de nanomateriales y nanodispositivos proporciona herramientas eficaces para mejorar la capacidad de los microorganismos en la degradación de contaminantes ambientales (Rathinaraj, et al., 2020). Estos nanomateriales, como nanotubos de carbono o nanopartículas metálicas, pueden actuar como catalizadores que facilitan la descomposición de contaminantes tóxicos en formas menos perjudiciales.

La nanotecnología ofrece la posibilidad de diseñar nanosensores específicos para monitorear la eficacia de los procesos de biorremediación y detectar la presencia de contaminantes de manera precisa y en tiempo real. Estos avances según Vázquez et al (2020) permiten un enfoque más preciso y eficiente en la restauración ambiental, marcando una pauta prometedora para la aplicación sostenible de la nanotecnología en la gestión y remediación de la contaminación.

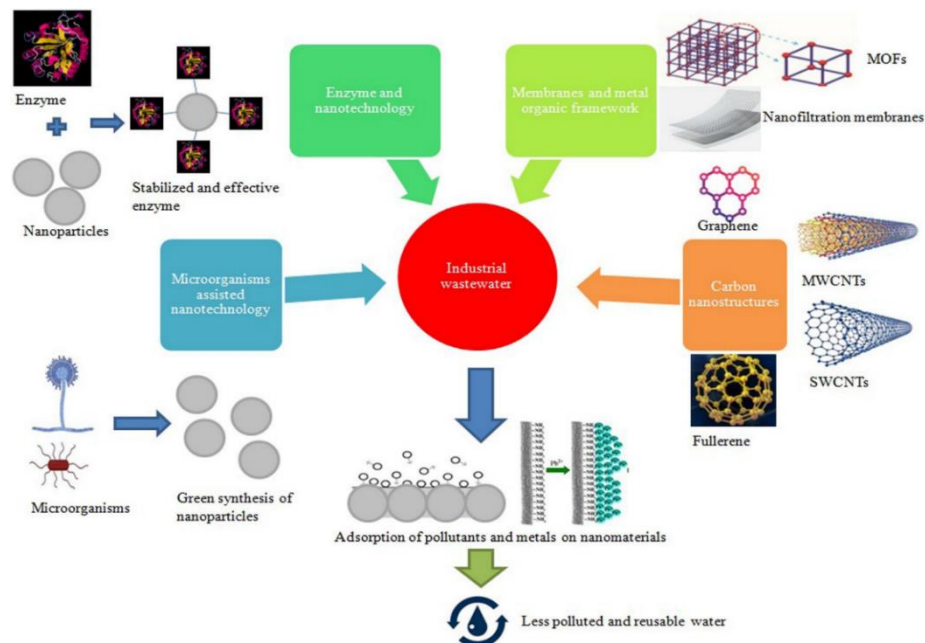
Las dimensiones reducidas de los nanomateriales los vuelven aptos para su implementación en el tratamiento de aguas residuales, aprovechando sus propiedades químicas, físicas y biológicas específicas que mejoran su idoneidad en diversas aplicaciones (Mandeep & Shukla, 2020). En el contexto de la eliminación de efluentes de aguas residuales, se han empleado diversos nanomateriales, tales como nanomateriales basados en carbono (nanocompuestos o nanotubos), metales y sus óxidos. Las estrategias de gestión de aguas residuales comprenden técnicas como la degradación fotocatalítica, la adsorción y la filtración mediante nanopartículas, con la observación detallada de distintos contaminantes y sustancias indeseadas (Palit & Hussain, 2020).

La nanotecnología se plantea como una vía potencial para abordar el tratamiento de aguas residuales y la rehabilitación de zonas contaminadas. Se postula que la capacidad de los nanomateriales para funcionar como agentes oxidantes y reductores, así como su capacidad para servir como nutrientes, podrían ofrecer una alternativa para la transformación de

contaminantes y compuestos tóxicos, al mismo tiempo que estimulan el crecimiento microbiano (Mandeep & Shukla, 2020). La dimensión reducida y la alta área superficial de los nanomateriales les confieren una mayor reactividad y una capacidad de dispersión más eficiente. Por ejemplo, en comparación con los enfoques tradicionales de oxidación de contaminantes que recurren al uso del reactivo de Fenton o hierro en su estado de valencia cero para abordar la contaminación de suelos con solventes como el tricloroetano o sus equivalentes clorados, las nanopartículas bimetálicas han evidenciado una eficacia notable en la minimización de la generación de subproductos no deseados, como los dicloroetanos y el cloruro de vinilo.

Figura 11

Empleos de nanotecnología en biorremediación de aguas residuales



Nota. Tomado de Mandeep y Shukla (2020)

La Figura 11 presenta la aplicación de diversas técnicas nanotecnológicas en la biorremediación de efluentes industriales. Se destacan entre las técnicas aquellas en la nanotecnología es asistida por microorganismos, aquellos donde se emplea la nanotecnología fusionada con el manejo de enzimas, al igual que las que emplean nanoestructuras de carbono.

7.14. Nanotecnología y la sostenibilidad

La nanotecnología se ha posicionado como un dominio investigativo de considerable importancia en el ámbito de la agricultura sostenible, presentando un potencial innovador para optimizar la eficacia y sostenibilidad de los procesos agrícolas, teniendo en cuenta la

importancia de la capacidad de manipular y diseñar materiales a escala nanométrica, lo que posibilita la creación de soluciones específicas para los retos que enfrenta la agricultura moderna. Al aprovechar las cualidades únicas de los nanomateriales, como su reactividad y alta área superficial, la nanotecnología ofrece herramientas para abordar cuestiones críticas, como la gestión de nutrientes, la detección de plagas y enfermedades, y la monitorización de cultivos y suelos (Nath, 2021).

Uno de los avances más prometedores en este campo es el desarrollo de nanofertilizantes, que son formulaciones de nutrientes esenciales a nivel nanométrico y que tienen la capacidad de liberar nutrientes de manera controlada y eficiente, lo que reduce la pérdida de nutrientes al ambiente y mejora la absorción por parte de las plantas, lo cual no solo incrementa la productividad agrícola, sino que disminuye el impacto ambiental al disminuir la contaminación del suelo y el agua con productos químicos agrícolas (Vázquez, 2023).

7.14.1. Aplicaciones sostenibles de nanomateriales

Las aplicaciones sostenibles de nanomateriales han emergido como un campo de investigación y desarrollo estratégico que busca aprovechar las ventajas de la nanotecnología para abordar desafíos sostenibles y promover prácticas más responsables. Desde la medicina hasta la gestión de recursos naturales, estas aplicaciones buscan maximizar los impactos positivos mientras minimizan cualquier efecto adverso en el entorno ambiental (Murru, 2021). A continuación, se exploran algunas áreas clave donde los nanomateriales están siendo aplicados de manera sostenible.

Tabla 5*Aplicaciones sostenibles de nanomateriales*

Área	Descripción
Descontaminación Ambiental	Los nanomateriales se utilizan en tecnologías de descontaminación para purificar aguas y suelos contaminados. Nanopartículas como el óxido de titanio y el carbono activado se aplican para la eliminación eficiente de contaminantes, ofreciendo soluciones sostenibles para mejorar la calidad de los recursos naturales.
Energía Renovable	En el sector de energía renovable, los nanomateriales desempeñan un papel crucial. Desde mejorar la eficiencia de las celdas solares hasta facilitar la captura y almacenamiento de energía, la aplicación de nanomateriales contribuye significativamente a la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.
Envases Biodegradables e Inteligentes	Los nanomateriales sostenibles se utilizan en el desarrollo de envases biodegradables que ayudan a reducir los desechos plásticos. Además, la integración de nanosensores permite crear envases inteligentes que pueden monitorear la frescura de los alimentos, reduciendo el desperdicio y mejorando la eficiencia en la cadena de suministro.
Agricultura y Nutrición	En el sector agrícola, nanomateriales se aplican para mejorar la eficacia de fertilizantes y pesticidas, reduciendo así el impacto ambiental asociado con su uso excesivo. Nanomateriales también se utilizan en la fortificación de alimentos, mejorando la absorción de nutrientes y contribuyendo a la seguridad alimentaria.
Construcción Sostenible	La construcción sostenible se beneficia de nanomateriales que mejoran las propiedades de los materiales de construcción convencionales. Desde nanopartículas que fortalecen el concreto hasta recubrimientos que mejoran la resistencia y durabilidad, estas aplicaciones contribuyen a la eficiencia y longevidad de las infraestructuras.
Tecnologías de Filtración y Purificación	Los nanomateriales se aplican en sistemas de filtración y purificación de agua, ofreciendo soluciones sostenibles para mejorar el acceso a agua limpia. Nanomateriales como nanotubos de carbono y óxidos metálicos se utilizan para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del agua potable.

Nota. Tomado de Serena (2021)

La Tabla 5 presenta una visión completa de las aplicaciones sostenibles de nanomateriales, destacando su versatilidad en diversos sectores clave. En el ámbito de la descontaminación ambiental, los nanomateriales se emplean para desarrollar soluciones eficaces en la eliminación de contaminantes tóxicos, contribuyendo así a la preservación del entorno natural. En el sector de la energía renovable, los nanomateriales juegan un papel crucial en la mejora de la eficiencia

y rendimiento de dispositivos como paneles solares y baterías. Los envases biodegradables e inteligentes representan otra aplicación destacada, donde los nanomateriales ofrecen alternativas sostenibles y tecnológicamente avanzadas en el embalaje de productos. En agricultura y nutrición, los nanomateriales se utilizan para desarrollar fertilizantes y pesticidas de liberación controlada, mejorando la eficiencia y reduciendo el impacto ambiental. En la construcción sostenible, los nanomateriales se aplican para mejorar propiedades estructurales y térmicas de materiales de construcción. Finalmente, en tecnologías de filtración y purificación, los nanomateriales desempeñan un papel crucial en el desarrollo de sistemas avanzados para el tratamiento de agua y aire. En conjunto, esta figura destaca cómo los nanomateriales están transformando de manera positiva y sostenible diversos aspectos cruciales de nuestra sociedad y entorno.

7.14.2. Uso de nanomateriales en la remediación ambiental y la gestión de residuos

El empleo de nanomateriales en la remediación ambiental y la gestión de residuos representa un avance fundamental en la lucha contra la contaminación y la degradación del entorno natural. Estos nanomateriales, caracterizados por su tamaño extremadamente pequeño a nivel nanométrico, poseen propiedades excepcionales que los convierten en herramientas altamente eficaces para la eliminación de contaminantes y la transformación de residuos perjudiciales en formas menos dañinas o incluso en recursos útiles (Nzil, et al., 2023).

En el contexto de la remediación de suelos y aguas contaminadas, los nanomateriales, como las nanopartículas de hierro, desempeñan un papel crucial al descomponer y eliminar eficientemente contaminantes, incluyendo compuestos orgánicos y metales pesados. Su gran área superficial y reactividad mejoran significativamente la eficacia en comparación con los métodos tradicionales de remediación (Roy, et al., 2021).

La gestión de residuos peligrosos también se beneficia de la nanotecnología, donde los nanomateriales se utilizan para transformar residuos peligrosos en formas menos dañinas o para la recuperación de materiales valiosos. Nanocatalizadores tienen la capacidad de descomponer compuestos peligrosos en residuos químicos, mientras que nanomateriales de carbono se emplean en la recuperación de metales preciosos de desechos electrónicos (Roy, et al., 2021).

8. PREGUNTA CIENTÍFICA

8.1. ¿Permitirá el estudio del estado actual de la nanotecnología determinar la relación con su aplicación en la conservación del ambiente y la promoción de la sostenibilidad?

Si, el estado actual de la nanotecnología en su aplicación para la conservación del medio ambiente y la promoción de la sostenibilidad contribuye al ahorro de recursos al mejorar la eficiencia de las fuentes de energía renovable, ofreciendo la posibilidad de reemplazar ciertos materiales abundantes y potencialmente mejorar el medio ambiente mediante la reducción de recursos naturales no renovables y la mitigación de la contaminación. Además, tiene la capacidad de detectar y cuantificar la presencia de agentes tóxicos en el entorno ambiental.

La nanotecnología simplifica la producción de materiales con propiedades mejoradas de ligereza y resistencia, lo que implica una reducción en la necesidad de recursos naturales y la producción de residuos. Además, la nanotecnología puede facilitar la automatización de tareas que antes estaban restringidas por limitaciones físicas, lo que podría resultar en una disminución de la mano de obra, el espacio necesario o los costos de mantenimiento vinculados a las actividades humanas.

Los beneficios primordiales resultantes de la influencia de la nanotecnología en la optimización de recursos con miras a la sostenibilidad comprenden el perfeccionamiento de los procedimientos de fabricación, los sistemas de purificación de agua, los sistemas energéticos, la mejora física, la nanomedicina, los métodos mejorados de producción de alimentos, la nutrición y la infraestructura para la auto fabricación a gran escala. Estos beneficios demuestran cómo la nanotecnología puede mejorar la eficiencia de los recursos y promover la sostenibilidad.

Finalmente, la nanotecnología tiene un impacto significativo en la mejora de la eficiencia de los recursos y la promoción de la sostenibilidad. Siendo la producción de estos nanomateriales aumenta día con día y se prevé que su aplicación se amplíe en un futuro próximo. Se espera que la aplicación de la nanotecnología, ya sea como tecnología independiente o integrada, para lograr una mejor degradación/eliminación de contaminantes de los entornos de agua, suelo, aire y sedimentos. Los nanomateriales también son útiles para detectar cantidades mínimas de contaminantes orgánicos persistentes, microcontaminantes y productos químicos peligrosos en

diferentes entornos haciendo de este modo posible que se materialice la conservación del ambiente y la promoción de la sostenibilidad.

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de investigación

9.1.1. Investigación Bibliográfica

El presente estudio es de tipo documental o bibliográfica, la cual se basa en la recopilación y análisis de la literatura científica y técnica existente relacionada con un tema específico y cuyo objetivo es proporcionar un resumen actualizado y completo de los conocimientos y avances en un área particular de estudio, identificando las tendencias y las áreas de interés (Guevara, 2016). Por otro lado, el estado del arte según Codina (2020) es un examen exhaustivo y actualizado de un área específica de conocimiento a nivel mundial.

En la revisión del estado del arte, se recopiló información mediante el uso de motores de búsqueda especializados, incluyendo Scielo, Redalyc, Dialnet, Google Académico, Scopus, Web of Science, PubMed, IEEE Xplore y JSTOR. La selección de estas bases de datos se llevó a cabo considerando la temática de investigación y los objetivos del estudio. Se examinaron un total de 120 artículos, asegurando así la obtención de una amplia y diversa gama de información y permitiendo una revisión exhaustiva del conocimiento existente en el área de interés.

Se procedió a analizar y sintetizar la información para ofrecer una visión general de la situación actual en el campo de estudio. A continuación, se describe la metodología utilizada para llevar a cabo el estado del arte, conforme a Hernández et al., (2022) lo siguiente:

- **Búsqueda de Literatura:** Descripción de las bases de datos y recursos utilizados para la búsqueda de literatura científica y técnica relacionada con la nanotecnología y el medio ambiente. También se puede mencionar el período de búsqueda.
- **Selección de Fuentes:** Criterios utilizados para seleccionar las fuentes y estudios que se incluirán en la revisión. Esto podría incluir criterios de inclusión y exclusión, como el enfoque en estudios recientes o enfoque en aplicaciones específicas.
- **Proceso de Análisis:** Explicación de cómo se analizará la literatura recopilada, cómo se resumirán los hallazgos y cómo se identificarán tendencias y desafíos.
- **Presentación de Resultados:** Cómo se presentarán los resultados de la revisión, ya sea en forma de resúmenes, tablas, gráficos u otros formatos

9.2. MÉTODOS

9.2.1. Método inductivo

El método inductivo, según amplias (Quesada & Medina, 2020) , se empleó como enfoque de investigación, partiendo de observaciones específicas y datos concretos para derivar conclusiones generales o principios universales. Se basó en la inferencia inductiva, generalizando desde ejemplos particulares para establecer principios más amplios. Este enfoque permitió identificar tendencias emergentes, enfoques innovadores y áreas de interés en la nanotecnología ambiental. El objetivo era lograr una comprensión más profunda de cómo esta tecnología se aplica en la preservación y sostenibilidad ambiental.

9.2.2. Método bibliográfico

La revisión bibliografía es una técnica de investigación que se centra en la revisión y el estudio de fuentes documentales, como libros, artículos, informes y publicaciones académicas. Su objetivo principal es recopilar información, datos y conocimientos existentes sobre un tema o problema de investigación específico. A través de la revisión bibliográfica, se busca contextualizar, fundamentar y respaldar una investigación mediante la consulta de fuentes confiables y relevantes (Codina, 2020).

Mediante este enfoque, se logró identificar y recopilar información valiosa de fuentes confiables, investigaciones previas, avances tecnológicos y mejores prácticas en el campo. Esta recopilación permitió contextualizar el estado actual de la nanotecnología y analizar cómo se ha aplicado y desarrollado en el contexto de la sostenibilidad ambiental.

9.2.3. Método Analítico

El método de análisis es una estrategia utilizada en la investigación para examinar y evaluar datos, información o evidencia recopilada de manera sistemática. Implica descomponer, examinar críticamente y comprender los componentes de un conjunto de datos o información con el objetivo de identificar patrones, tendencias, relaciones, significado o implicaciones. El análisis puede involucrar el uso de técnicas cuantitativas o cualitativas y permite extraer conclusiones, generar interpretaciones y tomar decisiones informadas basadas en la información analizada (Quesada & Medina, 2020).

El análisis permitió identificar las implicaciones y los desafíos asociados con la nanotecnología en relación con el medio ambiente y la sostenibilidad. Además, facilitó la identificación de algunas en la investigación existente y ayudó a formular recomendaciones para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas de la nanotecnología en el ámbito de la sostenibilidad ambiental.

9.3. TÉCNICAS

9.3.1. Revisión bibliográfica

La primera técnica, la revisión bibliográfica, consistió en la búsqueda, selección y análisis de la literatura científica y técnica existente sobre nanotecnología y su impacto en cuestiones ambientales y sostenibilidad. Se utilizó para obtener una comprensión profunda de los avances previos, investigaciones, descubrimientos y mejores prácticas en el campo de estudio.

9.3.2. Recopilación de información

La segunda técnica, la recopilación de información, se empleó para reunir datos específicos sobre la nanotecnología y su aplicación en el ámbito medioambiental y de la sostenibilidad. Esto abarcó la obtención de datos relacionados con experimentos, mediciones, informes y resultados de investigaciones anteriores pertinentes al tema de estudio. Resultó esencial para contar con datos empíricos y confiables que respaldaran la investigación y facilitaran análisis precisos en etapas posteriores.

9.3.3. Análisis de datos

La tercera técnica, el análisis de datos, consistió en el procesamiento y evaluación de la información recopilada. Esto abarcó la identificación de patrones, relaciones y tendencias significativas, permitiendo extraer conclusiones y evaluar el impacto de la nanotecnología en el medio ambiente y la sostenibilidad. Además, facilitó la identificación de correlaciones entre las variables estudiadas, proporcionando así una base sólida para la toma de decisiones informadas y la generación de recomendaciones respaldadas por evidencia.

9.4. INSTRUMENTOS

9.4.1. Base de datos

En el contexto de una revisión bibliográfica, una base de datos se define como un conjunto estructurado y organizado de información bibliográfica y científica almacenado digitalmente. Esta base abarca una amplia variedad de recursos académicos, como artículos de revistas, libros, conferencias, patentes y otros documentos relacionados con la investigación y la literatura científica (Codina, 2020).

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la presente investigación se muestra el análisis de los resultados, con particular énfasis en los objetivos específicos, puesto que al vincular los objetivos específicos de una investigación con el análisis de los resultados de la investigación permite asegurarse que los mismos se cumplan.

Cajiga (2023) destaca que los objetivos específicos son los puntos de referencia que guían el desarrollo de una investigación y a cuyo logro se dirigen todos los esfuerzos. Por otra parte, Sánchez (2020) complementa exponiendo que en el modo que se vinculan los objetivos específicos con el análisis de los resultados, se puede determinar si se han cumplido los objetivos y si los resultados son relevantes para la investigación. Además, la vinculación en el análisis de los resultados puede proporcionar información valiosa para futuras investigaciones y ayudar a mejorar la calidad de la investigación.

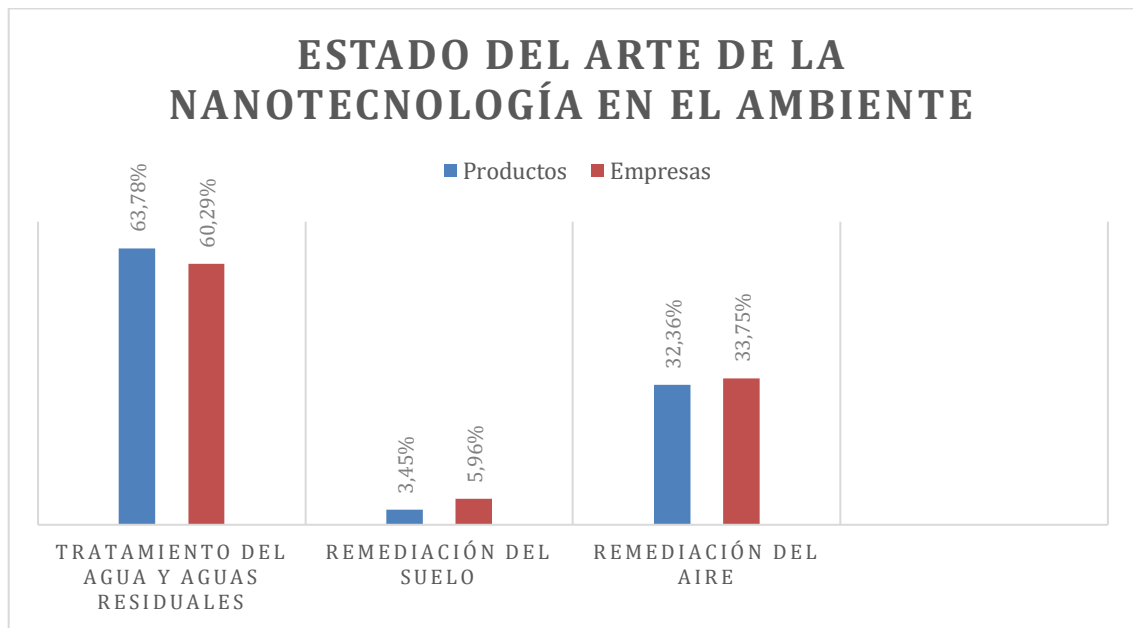
10.1. Bases de datos e informaciones sobre las investigaciones y avances más recientes de nanotecnología enfocadas en su capacidad para abordar problemas ambientales específicos

De acuerdo con StatNano (2023), un portal encargado de monitorear el estado del desarrollo y las políticas de la nanotecnología en el mundo se verificó mediante su base de datos de productos de nanotecnología (NPD) que proporciona una fuente fiable de información sobre los productos de nanotecnología, que actualmente se utilizan en una amplia gama de aplicaciones industriales en el también concuerda el autor Cajiga (2023), experto en nanotecnologías sustentables como una herramienta poderosa para abordar uno de los desafíos más apremiantes medioambientales. A los fines de la presente investigación se demuestra gráficamente en la Figura 12, el estado del arte de la nanotecnología en el medio ambiente en relación con productos sostenibles nanotecnológicos y empresas, cuyos datos absolutos están comprendidos para el tratamiento del agua y aguas residuales un total de 409 productos y 196

empresas; mientras que para la remediación de suelos representan un total de 22 productos y 16 empresas; a su vez la remediación del aire expresa un total de 206 productos y 108. Razones por las que a partir de los datos y valores relativos indicados en la Figura 12, los valores más altos los ocupa la remediación del agua y el tratamiento de aguas residuales.

Figura 12

Estado del Arte de la Nanotecnología en el medio ambiente



Nota. Tomado de StatNano (2023)

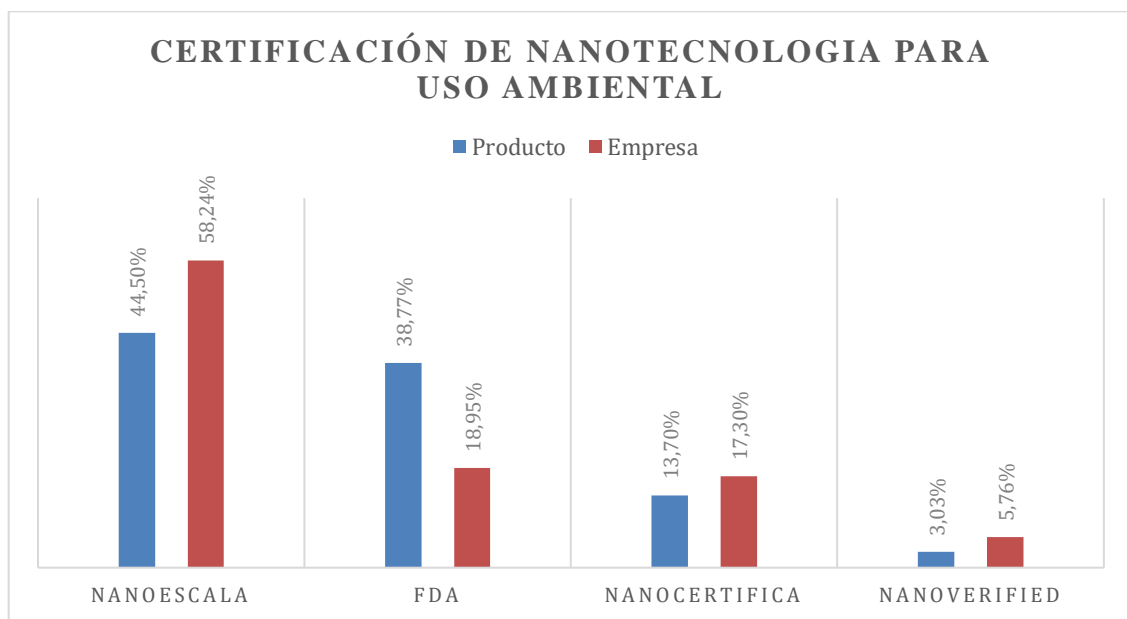
La Figura 12 presenta datos respecto al estado del arte de la nanotecnología en el medio ambiente que se relaciona con los productos y empresas, es por ello que en el tratamiento del agua y aguas residuales los productos representan 63,78% y las empresas 60,29 %; mientras que en la remediación de suelos los productos representan 3,45% y 5,96% las empresas, entre tanto que en la remediación del aire el 32,36% los representan los productos y el 33,75% las empresas.

Así mismo mediante la Base de Datos de Productos de Nanotecnología (NPD) que suministra StatNano respecto a la certificación de nanotecnología de uso medio ambiental se tiene un programa de certificación voluntaria para procesos y productos con reivindicaciones de nanoelementos en el rango de 1 a 100 nm. Programa conjunto con NANOVerified que es la marca que se otorgará a los procesos y productos una vez que se complete con éxito el programa y la participación de NanoEscala (Nanotechnology Innovation Council) de Iran, FDA (Food and Drug Administration) de E.E.U.U., NanoCertifica (RUSNANO Group) de Rusia;

organismos internacionales que cooperan en la certificación presencia y calidad de productos nanotecnológicos y desarrollo de capital humano en nanotecnología y desarrollo científico de nanotecnología. En consecuencia se verifica en la Figura 13 la representación gráfica de la certificación de nanotecnología para uso medio ambiental cuyo fin es generar confianza en quienes usan los productos y validan que los productos nanotecnológicos cumplen los altos cánones de calidad; por ello, se tiene un total de 1029 productos certificados y 364 empresa certificadas distribuidas en: NanoEscala un total de 458 productos y 212 empresas, NanoCertifica un total de 141 productos y 62 empresas, FDA con un total de 399 productos y 69 empresas ya por ultimo NANOVerified con un total de 31 productos y 21 empresas que se muestran gráficamente en la figura 13.

Figura 13

Certificación de nanotecnología para uso medio ambiental



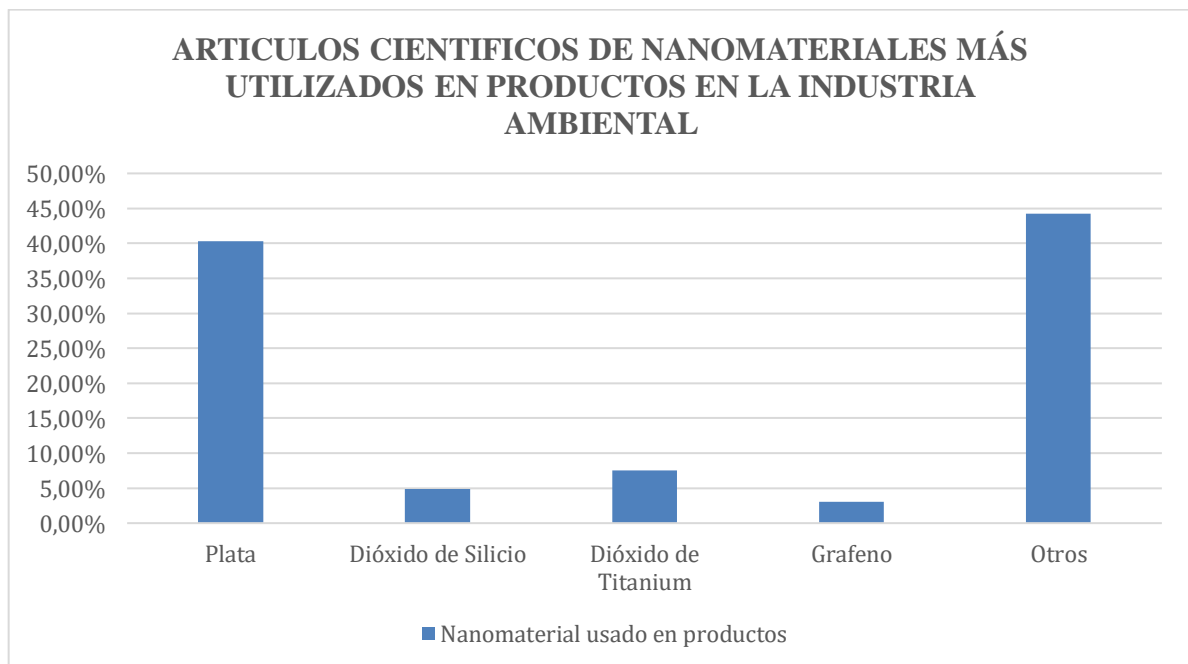
Nota. Tomado de StatNano (2023).

La Figura 13 describe de la certificación de nanotecnología para uso medio ambiental, tanto para empresas como productos de NANOESCALA representan 44,50% y 58,24% respectivamente, para FDA los productos representan 38,77% y las empresas 18,95%, en NANOCERTIFICA los productos representan 13,70% y las empresas 17,30%, finalmente NANOVERIFIED los productos están representados por 3,03% y las empresas por 5,76%.

Sabiendo que la nanotecnología se basa en la manipulación y el control de los nanomateriales, como es el caso de Cajiga (2023); quien indica que las nanopartículas pueden ser diseñadas para aumentar la capacidad del suelo para retener agua, lo que resulta en un uso más eficiente del recurso hídrico y una mayor resiliencia en condiciones de sequía; al igual que Hernández (2020) en su investigación sobre efectos de micro y nanoburbujas en tratamientos de aguas residuales domésticas demostrando que la aplicación y efectos de ellas sus sustentables y sostenibles en el tiempo. Y de hecho los nanomateriales son las piedras angulares de la nueva tecnología. La "Base de Datos de Nanomateriales" se lanzó en 2019 con el objetivo de presentar diferentes tipos y morfologías de nanomateriales y monitorear las publicaciones, patentes y tendencias de comercialización de estos materiales; ya que la misión de la base de datos es recopilar, analizar y publicar la información sobre nanomateriales en diversos aspectos de la ciencia. Con base a lo anterior, en la presente investigación se realizó una adaptación con particular énfasis de la nanotecnología en la industria ambiental de aquellos artículos científicos que se representan subsiguientemente en las gráficas de las Figuras 14, 15, 16 y 17; en las que se observan nanomateriales más usados en la industria ambiental, nanomateriales superiores de mayor divulgación, nanomateriales por dimensión y nanomateriales por tipo respectivamente.

Figura 14

Artículos científicos de nanomateriales más utilizados en productos en la industria medio ambiental

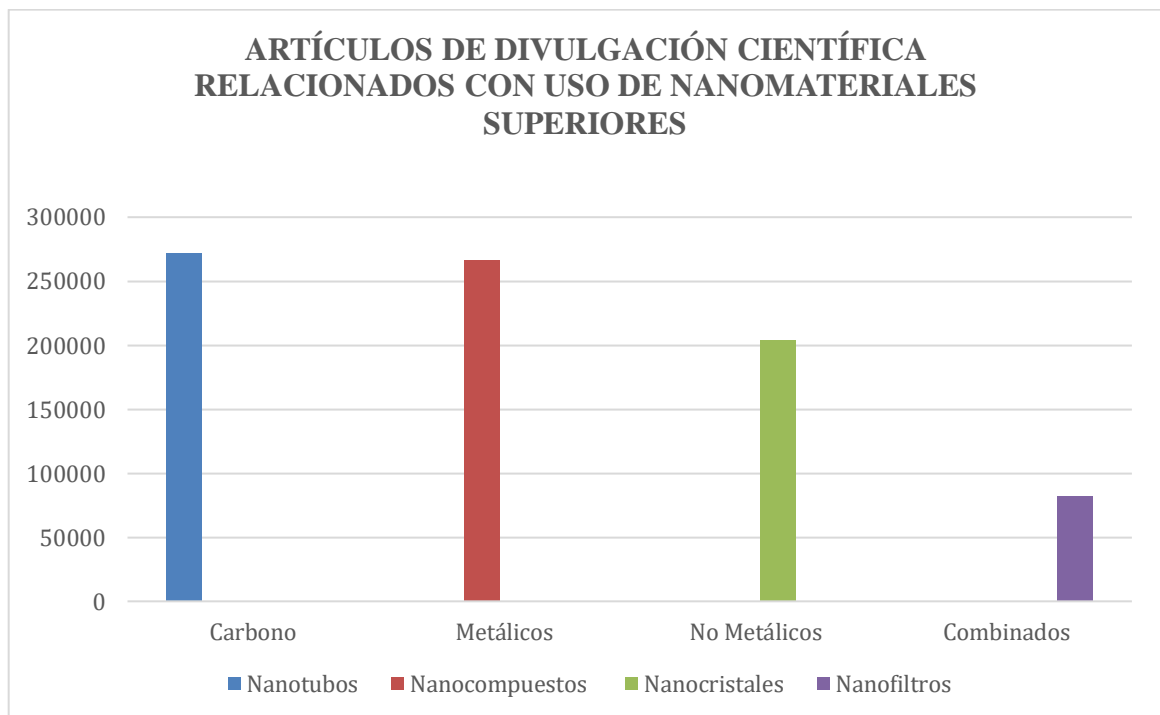


Nota. Tomado de StatNano (2023)

En la Figura 14 se presentan los artículos científicos de nanomateriales más utilizados en productos en la industria medio ambiental tales como: Plata representan un 40%, el Dióxido de Silicio un 5%, entre tanto que el Dióxido de Titanium representan valores por encima del 5% que no superan el 10%, siendo entonces el Grafeno representado por valores inferiores al 5% y otros nanomateriales representan un 44%.

Figura 15

Artículos de divulgación científica relacionados con uso de nanomateriales superiores

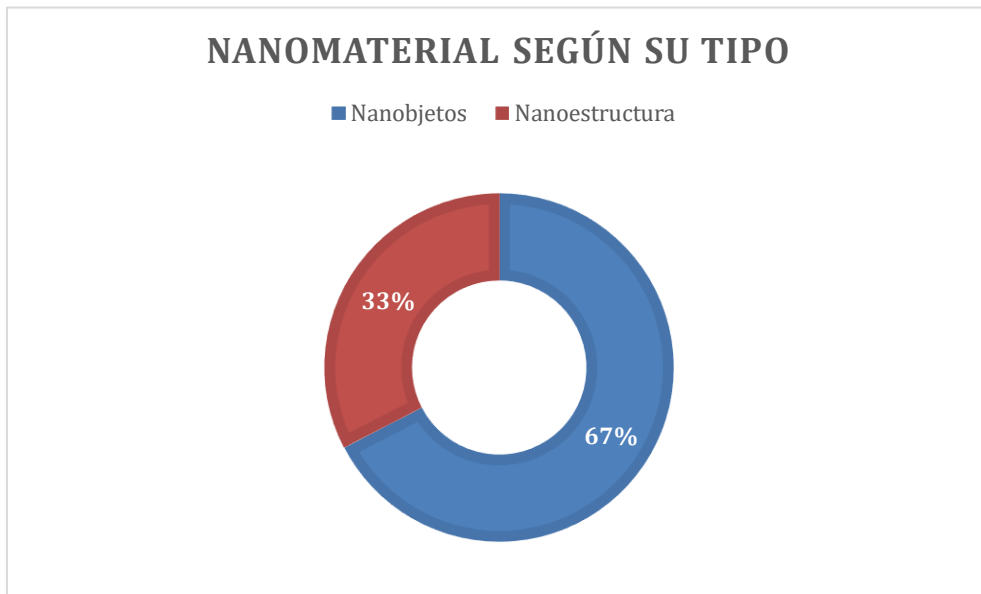


Nota. Tomado de StatNano (2023)

La Figura 15 presenta los datos sobre los artículos de divulgación científica relacionados con uso de nanomateriales superiores siendo los nanotubos de Carbono valores por encima de los 250000, los nanocompuestos también describen valores por encima de 250000, mientras que los nanocristales valores de 200000 y los valores entre 100000 y superiores a 50000 corresponden a los nanofiltros.

Figura 16

Artículos de divulgación científica relacionados con uso de nanomateriales según su tipo

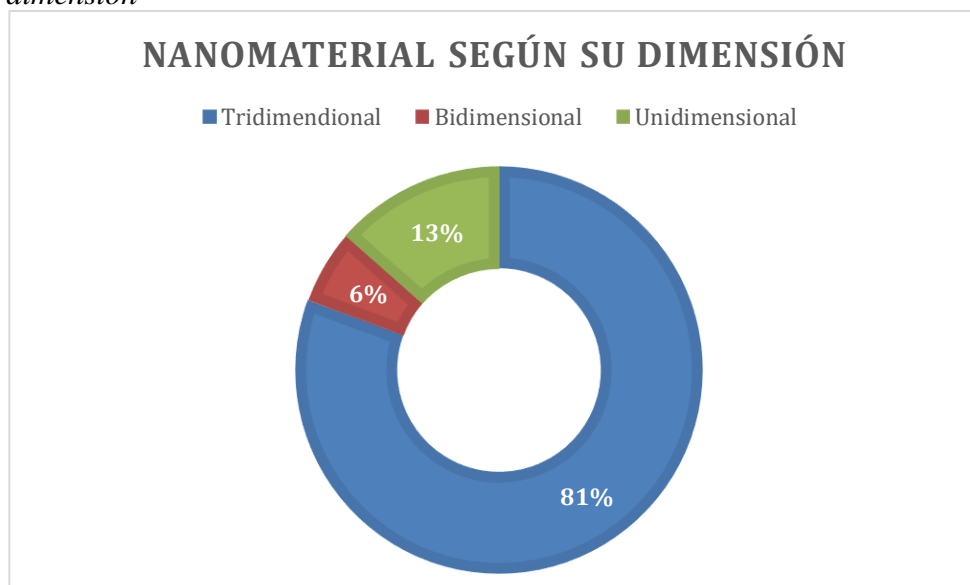


Nota. Tomado de Adaptación de StatNano (2023)

La Figura 16 presenta de los artículos de divulgación científica relacionados con uso de nanomateriales según su tipo están representados por 33% los nanobios y un 67% las nanoestructuras.

Figura 17

Artículos de divulgación científica relacionados con uso de nanomateriales según su dimensión



Nota. Tomado de Adaptación de StatNano (2023).

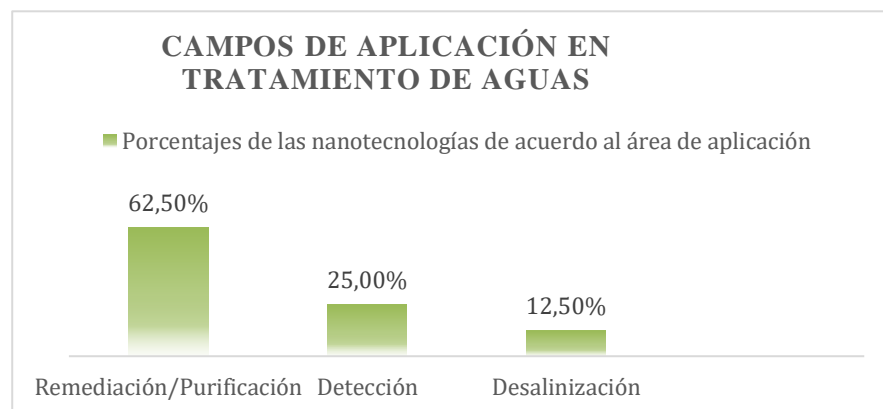
La Figura 17 presenta en relación a los artículos de divulgación científica relacionados con uso de nanomateriales según su dimensión que el 81% lo representan nanomateriales tridimensionales, entre tanto que el bidimensional está representado por 6% y el unidimensional por un 13%.

10.1.1. Nanotecnología aplicada al campo ambiental en el tratamiento de aguas para consumo humano

Cabe señalar que en la evaluación de distintos artículos científicos se encontraron datos significativos, como el caso de autores como Castañeda y López (2019), que expone en el ámbito de la investigación en nanotecnología enfocada en el tratamiento del agua para consumo humano, se identifican tres categorías fundamentales: desalinización, remediación purificación, y detección filtración; que a su vez coinciden en las mismas categorías principales para el tratamiento del agua, cuya temática se fundamenta en los criterios de divulgación científica innovación y Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS) (2023) de los estudios realizados en nanotecnología específicamente en tratamiento de agua en Latinoamérica, así como se observa en las figuras 18 y 19.

Figura 18

Porcentajes de las nanotecnologías de acuerdo con el área de aplicación

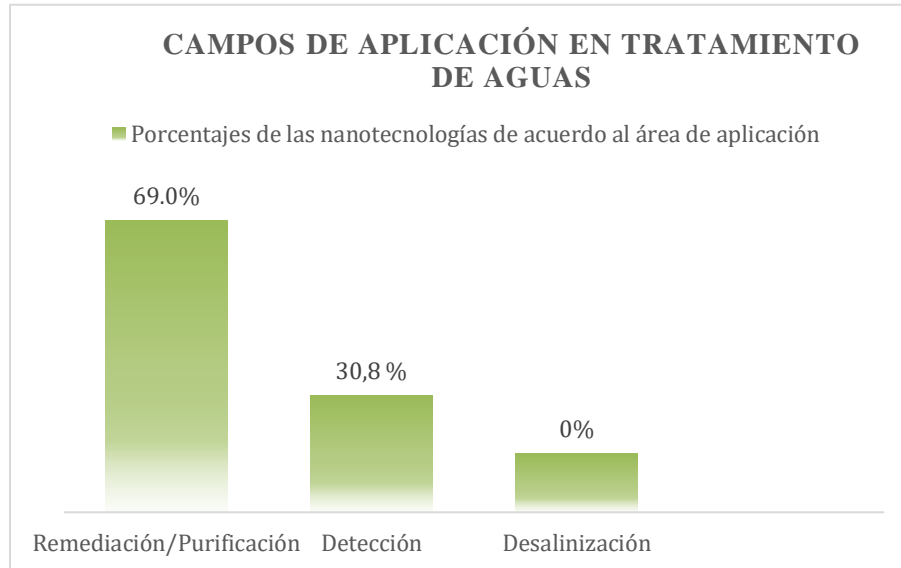


Nota. Tomado de Castañeda y López (2019)

La Figura 18 presenta los porcentajes de las nanotecnologías de acuerdo en campos de en tratamiento de aguas que la Remediación/Purificación representan valores de 62,50 %, en Detección 25% y finalmente para la Desalinización 12,50%.

Figura 19

Investigaciones realizadas en nanotecnología en tratamiento de agua en Latinoamérica (2004 – 2019)



Nota. Tomado de Red de repositorios latinoamericanos y Castañeda et al. (2019).

La Figura 19 presenta de las investigaciones realizadas en nanotecnología en tratamiento de agua en Latinoamérica (2004 – 2019) se tiene que el 69% lo ocupa la Remedación/Purificación, la Detección representa un 30,8%; sin valores significativos para la Desalinización.

10.1.2. Fitorremediación asistida por nanotecnología aplicada a problemas ambientales del suelo

En atención a lo indicado por Álvarez (2021) la fitorremediación asistida por nanotecnología se define por la implementación de técnicas combinadas de nanofitorremediación en suelos contaminados. Estas técnicas deben cumplir con requisitos específicos, como la ausencia de toxicidad para las plantas y su microbiota rizosférica, así como la capacidad de adsorber contaminantes y mejorar su disponibilidad biológica para optimizar el proceso de fitoextracción que se presenta de forma analítica en la Tabla 6.

Tabla 6

Fitorremediación asistida por nanotecnología

META L PESA DO	ESPECIE DE LA PLANTA	NANOMATER IAL	ROL DEL NANOMATER IAL	RESULTAD OS PRINCIPAL ES	REFEREN CIA
Cobre (Cu) Hierro (Fe) Aluminio (Al) Zinc (Zn)	Calamagrostis Paranephel ius ovatus y Werneria nubigena	Nanopartículas de carbono	Fomento del crecimiento de plantas y fitorremediación en agua y suelos	Aumento del pH en el sustrato, en niveles de acumulación de metales, en dosificación del 1% en Werneria nubigena y Paranephel ius ovatus para concentración de Cu; y para Calamagrosti s en dosificación un 3% mayor concentración de Al, Zn y Cu La absorción de Cd aumentó de 128,5 a 507,6 µg por planta al aumentar la concentración de nanopartícula s de TiO ₂	Fow Estévez 2021
Cadmio (Cd)	Soya	Nanopartículas de dióxido de titanio (TiO ₂)	Mejora de las tasas de brotación, desarrollo y fotosíntesis de las plantas.		(Neme, 2021)

Arsénico (As), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), y Zinc (Zn).	Girasol	nZVI	Estabilización directa de contaminantes mediante partículas nZVI	Después de usar nZVI para la fitoestabilización, las concentraciones de As, Cd, Pb y Zn en raíces y brotes disminuyeron entre un 50% y un 60% en comparación con la muestra de control.	(Chanchapoma et al., 2021)
Cadmio (Cd) y Plomo (Pb)	Centeno	Nanosilice	Aumentar la fitodisponibilidad de Pb y promover el crecimiento de las plantas.	Las concentraciones máximas de acumulación de Pb en las raíces se lograron con Nanosilice.	(Moameri & Abbasi Khalaki, 2019)
Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Níquel (Ni)	Maíz	Nanopartículas de carbono	Mejorar el área de la raíz y la longitud de la raíz	Con nanopartículas de carbono, las concentraciones de acumulación de Cd, Pb y Ni en el brote aumentaron respectivamente	(Vega et al., 2021)

Nota. Tomado de Magdaleno et al. (2023)

La Tabla 6 agrupa diversos ejemplos donde se emplean metales pesados para Fitorremediación asistida por nanotecnología. En este sentido, de acuerdo con Magdaleno et al. (2023) con la técnica de fitorremediación asistida por nanomateriales y del autor Fow y Jeanpier (2021)¹ en su investigación de evaluación de la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas: Calamagrostis, Paranephelius ovatus y Werneria nubigena, especies de hierbas ornamentales; en suelos contaminados por drenaje ácido de roca en la microcuenca Quillcayh, Ancash, demostró el aumento del pH en el sustrato, en niveles de acumulación de metales, que a mayor concentración de nanopartículas en dosificación del 1% en Werneria nubigena y Paranephelius ovatus para concentración de Cu; y para Calamagrostis en dosificación un 3% mayor concentración de Al, Zn y Cu; modifican las características físico-químicas del suelo impactando positivamente en la población y los ecosistemas de montaña que depende de estos recursos. Específicamente en la Cordillera Blanca, en la microcuenca Quillcayhuanca (Ancash, Perú).

De acuerdo con la Tabla 5, según el aporte investigativo de los autores Neme et al. (2021), que los mismos demostraron que para incrementar la absorción de cadmio en suelos, se ha empleado no solo nanopartículas de nZVI, sino también nanopartículas de TiO₂ (NP de TiO₂), utilizando la plantación de soya como medio fijador. Esto ha resultado en un aumento significativo de la adsorción de cadmio, pasando de 128,5 a 507,6 µg en las raíces y hojas de la planta de soya, lo que ha favorecido el crecimiento de este vegetal.

No obstante, para los autores Fow y Jeanpier (2021), así como Moameri y Abbasi Khalaki (2020) el empleo de nanopartículas en el Centeno hace posible absorber cantidades considerables de Plomo y Cadmio, ya que las mismas facilitan el crecimiento de las plantas. Finalmente, en la investigación de los autores Vega et al., (2021) plantean que el uso de nanopartículas de carbono en suelos contaminados con relaves mineros incrementa la concentración de Cadmio, Plomo y Níquel en plantaciones de Maíz, cuyo beneficio yace en la mejora que presenta el área de la raíz y la longitud de la raíz de la planta, que también se observan en la Tabla 6.

10.1.3. Nanomateriales para la remediación del aire

De la revisión bibliográfica en el presente trabajo los nanomateriales para la remediación del aire desde la perspectiva de distintos autores entre los que se destacan Jampaiah et al. (2019)

señala que las nanovarillas de dióxido de Titanio permiten la remediación del aire contaminado; siendo una gran ventaja la remoción de mercurio en un espacio específico, como se demuestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Nanomateriales para la remediación de la contaminación del aire

NANOTECNOLOGÍA DESARROLLADA	CAMPO	APLICACIÓN	VENTAJAS	REFERENCIAS
Nanovarillas de Dióxido de Titanio	de Remediación	Control de agentes contaminante	de Remoción de Mercurio en un espacio específico	Jampaiah et al. (2019)
Nanocatalizadores	Filtración	Eliminación de amplia gama de agentes contaminantes de menor tamaño.	Reducción de Dióxido de Azufre	Rebee y Mahanpoor (2019)
Nanopartículas de Grafeno Óxido de Titanio	de Purificación	Absorción de los gases nocivos y tanto la luz natural como la artificial.	Purificación del aire por iluminación solar a través de pintura en ambientes cerrados	Calvino, Tobaldi y Lajaunie (2021)
Pintura Nanotecnológica	Purificación	Uso de pinturas nanotecnológicas en ambientes abiertos	Reducción de contaminación en el aire por medio de nuevas tecnologías.	

Nota. Tomado de Lozano et al. (2020)

Al visualizar en la Tabla 7 las distintas tecnologías que consideran nanomateriales, se pueden precisar que Según Rebee y Mahanpoor (2019), los nanocatalizadores permiten la filtración de aire contaminado. Los nanocatalizadores son usados para eliminar una amplia gama de agentes contaminantes de menor tamaño como el dióxido de Azufre.

Para Calvino, Tobaldi y Lajaunie (2021) indicaron que las nanopartículas en estudio según se muestra analíticamente en la Tabla 6, que, al estudiar las cualidades químicas de cada material, comprobaron que el Grafeno potencia las propiedades limpiadoras del óxido de Titanio, del mismo modo que las pinturas nanotecnológica purifican en aire, determinándose dos aplicaciones. Las nanopartículas de Grafeno y el óxido de Titanio, purifican el aire por iluminación solar a través de pintura en ambientes cerrados mientras que las pinturas nanotecnológicas reducen la contaminación en el aire en espacios abiertos; sin embargo, para ambas aplicaciones se reducen los potenciales impactos adversos para la salud relacionados con tres compuestos gaseosos perjudiciales, como el benceno, el isopropanol y los óxidos de nitrógeno, podrían ser contrarrestados mediante la utilización de un material en forma de polvo que opera de manera análoga al proceso fotosintético. Similar a la captura de dióxido de carbono por parte de las plantas para la producción de nutrientes, las nanopartículas se activan mediante la luz, absorben los gases nocivos y los transforman en sustancias inofensivas

10.1.4. Nanosensores para la remediación de la contaminación del aire

Después de la valoración de distintos artículos científicos asociados a las investigaciones realizadas de aplicación de nanosensores para la remediación del aire según Carvajal et al. (2022).

Tabla 8

Nanosensores para la remediación de la contaminación del aire

DETECCIÓN	TECNOLOGIA	CARACTERISTICAS	RESULTADOS
NO ₂	Grafeno para detección de NO ₂	Alta conductividad y menor ruido eléctrico	
	Monopartículas de Pd		
	Monopartículas de SnO ₂ en GO	Desarrollo de híbridos de GO	Alta eficiencia
SO ₂	Nanocompuestos de GO	Procesamiento de Hidrómetal de GO	
	Nanoestructuras de óxido de metal	Desarrollo de nanohojas, nanocompuestos, nanotubos, nanocables	Mayor sensibilidad
	Nanopartículas a base de Carbono	Desarrollo de nanopartículas de ZnO	Mayor respuesta al sensor
H ₂ S	Nanoestructura de metal y óxido de metal	Desarrollo de Nanoestructura de hidrotérmica	
	Nanoestructura de metal y óxido de metal	Nanotubos de ZnO	Difusión y absorción de CO ₂
		Nanotubos CuO	Mayor sensibilidad en menor tiempo

Nota. Tomado de Carvajal et al. (2022)

En la Tabla 8 se presentan datos respecto a los distintos usos de nanosensores para la remediación de la contaminación del aire, de distintas aplicaciones que van desde el uso nanopartículas, nanocompuestos principalmente de óxido de Grafeno (GO) entre otros óxidos básicos que permiten la detección de tres contaminantes del aire más comunes como lo son el dióxido de Nitrógeno, dióxido de Azufre e hidróxido de Azufre.

10.2. Impacto de la nanotecnología en la mejora de la eficiencia de los recursos en función de promover la sostenibilidad

Es relevante destacar que la nanotecnología desempeña un papel crucial en la optimización de los recursos al mejorar la eficiencia de las fuentes de energía renovable. Este efecto se evidencia en su capacidad para reemplazar materiales abundantes, lo que conlleva impactos positivos en la conservación del entorno al reducir el consumo desmedido de recursos naturales finitos y al contribuir a la reducción de la contaminación, particularmente en los sistemas acuáticos, terrestres y atmosféricos. Asimismo, la nanotecnología posee la capacidad de identificar y cuantificar la presencia de agentes tóxicos en el entorno ambiental.

Se estima que la aplicación de la nanotecnología, ya sea como tecnología independiente o integrada, logre una mejor degradación además de eliminación de contaminantes de los entornos de agua, suelo y aire. Los nanomateriales también son útiles para detectar cantidades mínimas de contaminantes orgánicos persistentes, micro contaminantes y productos químicos peligrosos en diferentes entornos.

La eficiencia de los recursos que promueven la sostenibilidad dispone de un mejor control sobre el proceso de fabricación que ayudará a proporcionar alternativas a las tecnologías convencionales de tratamiento de la contaminación al final de un determinado proceso. Su aplicación es una gran promesa para resolver los desafíos globales, ofreciendo soluciones sostenibles no solo en países desarrollados sino también en Latinoamérica.

10.2.1. Nanotecnologías desarrolladas a Latinoamérica

Así también en la valoración de distintos artículos científicos asociados a las investigaciones realizadas de aplicación de nanotecnología y agua. Se presenta un estudio analítico de distintas aplicaciones que van desde el uso de nanopartículas para remoción y absorción de arsénico y fluoruros para aguas contaminadas por fenol, desinfección y antibacteriales en el

tratamiento del agua. Al igual que el uso de carbón activado modificado con las nanopartículas para la remoción del azul de metileno (contaminante del agua propio de la industria textil) y nanopartículas de plata empleado tanto para filtración como desinfección del agua; las que han sido desarrolladas por diversas organizaciones en Latinoamérica como se muestra en la Tabla 8; plasmándose en ella que no existe un método mejor que otro; sino que nanotecnología a emplear dependerá del campo de aplicación ajustados al contexto del tratamiento del agua.

Tabla 9

Investigaciones realizadas y el área de aplicación de nanotecnologías y agua, período 2004 – 2019

N°	ORGANIZACIÓN	NANOMATERIAL	APLICACIÓN
1	Centro de Investigación de Servicios Químicos y Microbiológicos-CEQIATEC	Nanopartículas magnéticas de óxido de hierro	Remoción de arsénico
2	Centro de Investigación de Química Aplicada	Nanopartículas de plata biológicamente asistida con opuntia SP	Desinfección de aguas
3	Universidad Industrial de Santander	Subproductos de la planta de fique mediante procesos nanotecnológicos	Antibacteriales para el tratamiento de aguas
4	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (México)	Nanopartículas de óxidos de hierro	Adsorción de arsénico y fluoruros
5	Comisión de Investigaciones Científicas (Argentina)	Nanopartículas de óxidos de hierro magnético	Tratamiento de aguas contaminadas por fenol
6	Universidad Católica de Colombia	Carbón activado modificado con las nanopartículas	Remoción del azul de metileno
7	Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica Universidad Militar Nueva Granada Universidad Estadual de Campinas	Remoción de arsénico con nanopartículas de plata	Filtración de agua recubierto Desinfección de aguas

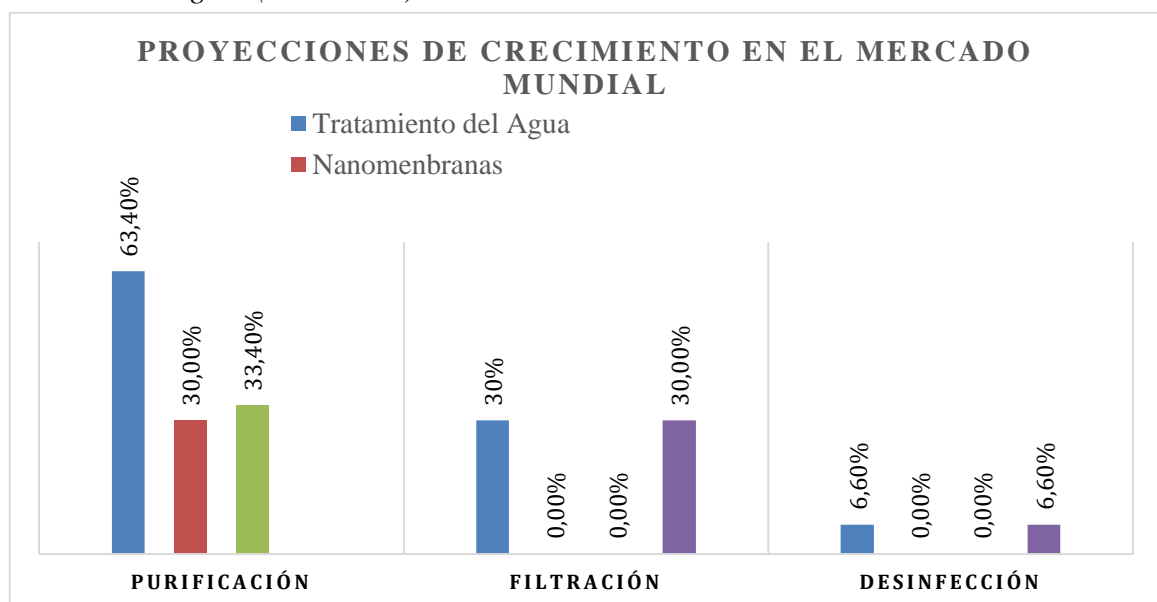
Nota. Tomado de Red de Repositorios Latinoamericanos y Castañeda et al. (2019).

En la Tabla 9 se agrupan un conjunto de entes que han impulsado desarrollos de la nanotecnología en diversos campos para el tratamiento del agua, partiendo desde la remoción de ciertas sustancias o compuestos hasta emplearlo en el proceso de desinfección. Cada uno de estos se han enfocado en desarrollos particulares, por ejemplo, el Centro de Investigación de Química Aplicada se ha inclinado hacia Nanopartículas de plata biológicamente asistida con opuntia SP, esto con el fin de desinfectar aguas contaminadas.

En el análisis documental de diversas fuentes científicas relacionadas con las nanotecnologías aplicadas al tratamiento del agua, se observó la existencia de un mercado consolidado y en expansión. A través de la base de datos de INNRUTA, una red de Inteligencia Competitiva de Medellín compuesta por 11 instituciones, se encontraron publicaciones que incluyen aproximaciones como estimaciones de la participación en el mercado y proyecciones de costos, reflejando en ella que en el tratamiento del agua para la purificación ocupa el 63,40% y se distribuye en 30,00% para nanomenbranas, mientras el 33,40% para nanotubos de carbono, puesto que la mayor de ventajas que ellos poseen es que los mismos se pueden fabricar de acuerdo al tamaño que se desee usar; frente al tratamiento del agua para filtración y desinfección con un 30,00% y 6,60% respectivamente que se detallan seguidamente en la Figura 20.

Figura 20

Proyecciones de crecimiento en el mercado mundial de nanotecnologías aplicadas en el tratamiento de aguas (2015-2019)



Nota. Tomado de INNRUTA (2019)

En la figura 20 se presenta Proyecciones de crecimiento en el mercado mundial de nanotecnologías aplicadas en el tratamiento de aguas (2015-2019) en porcentajes.

10.3. Capacidad de la nanotecnología para crear soluciones tecnológicas que sean ambientalmente sostenibles.

Desafortunadamente la sociedad actual está muy familiarizada con los problemas de la contaminación del aire, por lo que es pertinente indicar que, en la purificación del aire, al igual que con la purificación del agua, el uso de nanomateriales tiene alta capacidad de ayudar a contribuir a un aire más limpio. El smog y los altos niveles de ozono se desarrollan en respuesta a muchas sustancias, en particular los dióxidos de nitrógeno y azufre, así como a muchos compuestos orgánicos volátiles (COV).

Está demostrado que la capacidad de la aplicación nanotecnológica mediante UV nanofotocatalítico implica la activación de partículas catalíticas en un medio para atraer partículas en el aire. La contribución más citada de la nanotecnología actualmente en uso para filtrar el aire implica un proceso conocido como oxidación fotocatalítica, en el que un catalizador semiconductor (generalmente dióxido de titanio u óxido de zinc) se expone a la luz ultravioleta para producir radicales de hidroxilo altamente reactivos en el aire que reaccionan con los COV u otros contaminantes.

10.3.1. Aplicación de innovaciones en nanomateriales en la remediación de la contaminación del aire en ciudades

Conforme a la revisión documental de distintos artículos científicos relacionados con las aplicaciones más favorables e innovadoras en el uso de nanomateriales según Parfrey (2022), fundador y director ejecutivo de la organización Climate Resolve; se presentan analíticamente en la Tabla 10 mediante el desarrollo de 4 proyectos cuyo enfoque se centra en la purificación, filtración y remediación del aire en espacios abiertos. En este sentido los autores Revost y Seher (2021) desarrollaron el proyecto: “Creación de murales gigantes (Ciudad de México-México)”, mediante el uso de pintura nanotecnológica cuya duración después de la aplicación es de 10 años; esta innovación coadyuvada con Airlite, tiene como ventaja a través de la pintura hecha con nanomateriales la capacidad de purificar el aire, higienizar superficies e higienizar ambientes abiertos.

De igual manera para el proyecto “Paneles de cultivos biosolares (Este de Londres, Reino Unido)” desarrollado por científicos del Imperial College y Arborea (2019), este sistema de cultivo biosolares secuestra CO₂ y utiliza la luz solar como materia prima ilimitada, permitiendo un doble propósito del mismo, primero porque los grandes paneles cubiertos con pequeñas plantas que ocupan la superficie de un solo árbol absorben dióxido de carbono y liberan tanto oxígeno como lo harían 100 y segundo; permiten la extracción biomasa vegetal neutra en carbono que posteriormente se convierten en aditivos para fabricar productos alimenticios de origen vegetal tal como se señalan en la tabla 10.

En el contexto mencionado, la Tabla 10 proporciona detalles sobre los proyectos relacionados con "Paredes Arbóreas" en el Este de Londres, Reino Unido, y Berlín, Alemania, desarrollados por Green City Solutions en 2020. Estas estructuras, con una altura ligeramente superior a tres metros, albergan una variedad de musgos cuyo sustrato ha sido enriquecido con nanopartículas de liberación prolongada. Estas nanopartículas tienen la capacidad inherente de filtrar contaminantes atmosféricos, incluyendo partículas y óxidos de nitrógeno, transformando así estas paredes en sistemas naturales de purificación del aire. Por otro lado, el proyecto "Tejados que Reducen el Smog", implementado en Estados Unidos por la Corporación 3M en 2019, introduce una fórmula innovadora que incorpora un recubrimiento nanofotocatalítico activado por la radiación UV solar. Este proceso genera radicales que se adhieren a los compuestos químicos presentes en el aire contaminado, convirtiéndolos en iones hidrosolubles que eventualmente son eliminados por la lluvia.

Tabla 10*Innovaciones en nanomateriales en la remediación de la contaminación del aire en ciudades*

Proyecto	Nanotecnología	Campo	Ventajas	Referencias
Creación de murales gigantes (Ciudad de México-México)	Pintura Nanotecnológica	Purificación	Purificación del aire contaminado en proceso similar a la fotosíntesis	Revost y Seher (2021)
Paneles de cultivo biosolares (Este de Londres-Reino Unido)	Nanopartículas	Purificación	Absorción de dióxido de Carbono y alta liberación de Oxígeno	Imperial College & Arborea (2019)
Paredes arbóreas (Este de Londres-Reino Unido y Berlín- Alemania)	Nanopartículas y Biotecnología	Filtración	Eliminar contaminantes del aire como partículas y óxidos de nitrógeno mediante filtración.	Green City Solutions (2020)
Tejados que reducen el smog (E.E.U.U.)	Nano fotocatalizadores	Remediación	Producir radicales que se adhieren a los compuestos presentes en el aire contaminado, convirtiéndolos en iones hidrosolubles que son posteriormente arrastrados por la lluvia.	Corporación 3M (2019)

Nota. Tomado de Programa para el medio ambiente de la ONU (2019)

La Tabla 10 presenta una recopilación de proyectos innovadores destinados a mitigar el impacto adverso de los procesos que ocasionan contaminación atmosférica. Se describen cuatro iniciativas destacadas implementadas en países como Estados Unidos, México, Reino Unido y Alemania. Estos proyectos han sido objeto de análisis o exposición por parte de investigadores u organizaciones como Revost y Seher, así como la Corporación 3M, entre otros.

11. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

11.1. Bases de datos e informaciones sobre las investigaciones y avances más recientes de nanotecnología enfocadas en su capacidad para abordar problemas ambientales específicos

Tal como ya se demostró en la Figura 12 conforme al monitoreo mundial de StatNano (2023) en concordancia con lo señalado por Cajiga (2023), que, en el estado actual del arte de la nanotecnología en el mundo, quienes apuestan por nanotecnologías sustentables como una herramienta poderosa para ahondar en uno de los desafíos más apremiantes medioambientales para la remediación de la contaminación del suelo, aire y agua. La nanotecnología está revolucionando el ámbito de las ciencias ambientales al proporcionar una variedad de oportunidades para abordar la eliminación de contaminantes. Se investigan tanto los nanomateriales no recubiertos como los recubiertos para la eliminación de contaminantes, lo que abre un amplio espectro de posibilidades en este campo.

En este sentido la certificación de nanotecnología para usos medio ambiental según lo presentado en la Figura 13 se hace vital a fin de que el uso de los productos sea validado, verificándose el cumplimiento de ellos en relación a su calidad, composición. De igual manera la certificación de nanotecnología para uso medio ambiental se constituye como una garantía por escrito asegurando que el proceso de producción cumple con los requisitos establecidos por las distintas organizaciones internacionales o países cuyo fin es generar confianza en quienes usan los productos y aprueban que los productos nanotecnológicos cumplen los altos cánones de calidad.

Como bien lo expone Cajiga (2023) que con el uso de nanopartículas se puede aumentar la capacidad del suelo, Hernández (2020) propone las nanoburbujas en tratamientos de aguas residuales domésticas demostrando que la aplicación y efectos de ellas son sustentables y sostenibles en el tiempo. Nótese entonces que, se presenta una adaptación en para esta investigación que enfatiza que la nanotecnología en la industria ambiental, los materiales más utilizados están indicados en las Figuras 14, 15, 16 y 17.

Por otra parte, se tiene que la capacidad de la nanotecnología en el abordaje específico de problemas ambientales, tal como se presentan en las figuras 18 y 19, donde autores como Castañeda y López (2019), abordan el tema del agua en el tratamiento para el consumo humano en tres grandes categorías remediación – purificación, detección – filtración y desalinización. Otros de los casos en los que la nanotecnología aborda problemas ambientales específicos es en el suelo, mediante lo que indicó Kham (2020) de la fitorremediación asistida por nanotecnología que se detalla en la Tabla 5.

Según lo registrado por Magdaleno et al., (2023), con la técnica de fitorremediación asistida por nanomateriales y del autor Fow Estévez (2021) en su investigación de evaluación de la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas: Calamagrostis, Paranephelius ovatus y Werneria nubigena, especies de hierbas ornamentales; en suelos contaminados por drenaje ácido de roca en la microcuenca Quillcayh, Ancash, se infiere que a partir de esa experiencia, bien puede ser aplicada para fitorremediar el suelo el uso de especies vegetales Brassica rapa en suelos contaminados con Cadmio y Raphanus sativus , ya que la fitorremediación de suelos asistida por nanotecnología es aplicable en distintas especies ya sean estas ornamentales o vegetales. En Ecuador y en otras áreas locales, se enfrenta el desafío de la presencia de cadmio en productos agroquímicos destinados a la exportación, con niveles que superan los límites regulados. Esta circunstancia plantea riesgos para la salud humana al exceder los estándares establecidos en el CODEX Alimentarius, debido a los efectos tóxicos que este metal puede tener en el organismo.

Como también se observa en la Tabla 5 que autores Neme et al., (2021), las nanopartículas de nZVI y TiO₂, utilizando la plantación de soja como agente de retención, representan una potencial oportunidad de mercado para los productores y comerciantes en Ecuador, dada la demanda mundial de este cultivo., pudiendo entonces reproducir la experiencia que mediante la investigación que aportan autores Neme et al., (2021), de igual forma que Moameri y Abbasi Khalaki, (2019) en cuya experiencia del empleo de nanopartículas en el Centeno y el Maíz hace posible absorber cantidades considerables de Plomo y Cadmio, ya que las mismas facilitan el crecimiento de las plantas.

No obstante, el uso de nanomateriales para la remediación del aire, como se verifica en la Tabla 6, destaca de Jampaíah et al. (2019), que el uso las nanovarillas de dióxido de Titanio permiten la remediación del aire contaminado; para remoción de mercurio en un espacio específico.

Ahora bien, se tiene que el uso de los nanocatalizadores eliminan una amplia gama de agentes contaminantes de menor tamaño como el dióxido de Azufre.

Sin embargo, para Calvino et al. (2021) las nanopartículas de Grafeno potencian las propiedades limpiadoras del óxido de Titanio, del mismo modo que las pinturas nanotecnológicas purifican en aire, determinándose dos aplicaciones: las nanopartículas de Grafeno y el óxido de Titanio, quienes purifican el aire por iluminación solar a través de pintura en ambientes cerrados mientras que las pinturas nanotecnológicas reducen la contaminación en el aire en espacios abiertos. La nanotecnología y la fotosíntesis artificial representa una opción sustentable en el proceso de reducción de CO₂ que se conoce como fotocátalisis artificial e involucra conjuntamente la separación de la molécula de H₂O, que para Carvajal et al. (2022), el uso nanopartículas, nanocompuestos principalmente de óxido de Grafeno (GO) entre otros óxidos básicos que permiten la detección de tres contaminantes del aire más comunes como lo son el dióxido de Nitrógeno, dióxido de Azufre e hidróxido de Azufre.

11.2. Impacto de la nanotecnología en la mejora de la eficiencia de los recursos en función de promover la sostenibilidad

En relación al impacto de la nanotecnología ante la encrucijada en la que se encuentra la humanidad en torno a su sostenibilidad, la nanotecnología se constituye como aliada para hacer de esta problemática una oportunidad que permita redireccionar el rumbo de nuestras sociedades y del planeta, haciendo uso de las herramientas que los avances de la ciencia y la tecnología nos ofrecen.

Si bien se admite la existencia de esfuerzos individuales y proyectos relacionados con la síntesis y caracterización de nanomateriales utilizando métodos químicos en Ecuador, y el Plan de Ciencia y Tecnología propone su fomento sin proporcionar una descripción detallada de su aplicación concreta, es evidente que para obtener resultados significativos a escala nacional y local, son indispensables políticas públicas que respalden estas actividades, además de un entorno económico propicio en el país.

Ahora bien, la nanotecnología tiene varios impactos en el medio ambiente, uno de los grandes desafíos de las ciencias ambientales es el poder detectar la presencia de contaminantes en los diferentes ecosistemas, haciendo que la prevención de la contaminación se reduzca o elimine

aquellas fuentes que originan los contaminantes. Conforme a lo que se plantea en la Tabla 8 el impacto de la nanotecnología en el tratamiento de remediación del agua se da mediante el uso de nanopartículas, ya sea que las mismas se usen para remoción, absorción, filtración, desinfección o antibacteriales ya han sido también desarrolladas por distintas organizaciones en Latinoamérica, donde se comprueba que el método o el nanomaterial siempre dependerá del campo de aplicación ajustados al contexto del tratamiento del agua, (remoción, absorción, filtración, desinfección o antibacteriales).

Según lo planteado en la Figura 20 se evidencia aproximaciones, del posicionamiento del mercado y de la expectativa de costos en el tratamiento del agua, ocupando por encima del 60% la purificación del agua, donde se distribuye en un 33,40% para nanotubos de Carbono y al 30,00% de nanomembranas. Surge la proposición de abordar el tema del carbono, dado su estatus como elemento químico fundamental presente en todas las formas de vida. En la naturaleza, el carbono se encuentra en tres estructuras cristalinas principales: diamante, fulereno y grafito.

Tomando en cuenta la configuración molecular del carbono y su capacidad para asumir diversos estados de hibridación, se puede comprender la singularidad de las propiedades físicas y químicas de los nanomateriales de carbono en contraste con los derivados de metales. Este fenómeno resalta el potencial transformador del carbono, un elemento abundante en la naturaleza, en el ámbito de la ciencia de materiales y la nanotecnología, lo que podría resultar en un impacto positivo considerable.

11.3. Capacidad de la nanotecnología para crear soluciones tecnológicas que sean ambientalmente sostenibles.

La utilidad de la nanotecnología va más allá de la simple manipulación de materiales a nivel nanométrico, lo que implica una redefinición en la forma en que se enfrentan varios desafíos que confronta la humanidad, particularmente en su aspiración por lograr un desarrollo sostenible. Dentro de estos desafíos se incluye la creación de enfoques eficientes, ecológicos y sustentables para la producción, transformación, retención y utilización de la energía.

En la remediación de la contaminación del aire, para esta investigación se consideró pertinente conforme a la Tabla 10, el desarrollo de proyectos cuyo foco de aplicación se centra en la

purificación, filtración y remediación del aire en espacios abiertos, se tiene entonces que para los autores Revost y Seher (2021) desarrollaron el proyecto: “Creación de murales gigantes (Ciudad de México-México)”, mediante el uso de pintura nanotecnológica cuya duración después de la aplicación es de 10 años.

No obstante, los compuestos orgánicos volátiles (COV) presentes en las pinturas tradicionales pueden ser tan perjudiciales para la salud humana como las emisiones del escape de los automóviles. Para este proyecto la pintura a base de nanopartículas en lugar de productos químicos tóxicos que descomponen los COV y los polutantes transmitidos por el aire, al tiempo que repelen bacterias, virus y esporas de moho.

Según Revost y Seher (2021) la pintura utiliza materiales a base de nanopartículas de dióxido de titanio que son activadas por la luz e interactúan con la humedad del aire para producir catalíticamente iones especiales, los radicales hidroxilos, conocidos comúnmente como los «detergentes de la naturaleza». Estos radicales pueden descomponer partículas tóxicas del aire, como el óxido de nitrógeno (NO_x), que ocasionan la inflamación de las vías respiratorias.

De igual manera los autores señalan que la tecnología basada en nanopartículas reduce los polutantes transmitidos por el aire en un 89 % y elimina el 99,9 % de los virus y bacterias de las superficies tratadas, además de repeler la suciedad y las esporas de moho. La capacidad de la pintura de reflejar el calor de la luz solar reduce, asimismo, los costes de consumo de energía relacionados con la refrigeración en climas cálidos hasta en un 29 %.

Otro aspecto de discusión expuesto en la Tabla 10 es sobre el proyecto “Paneles de cultivos biosolares (Este de Londres, Reino Unido)” desarrollado por científicos del Imperial College y Arborea (2019), este sistema de cultivo biosolares secuestra CO₂ y utiliza la luz solar como materia prima ilimitada, este es un proceso fotosintético asistido por el empleo de nanopartículas que sugiere como una de las potenciales soluciones a futuro para disminuir la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera y mitigar los efectos del cambio climático.

Bajo otra estrategia pero con el mismo propósito de purificación del aire indicado en la Tabla 10 el proyecto de “Paredes arbóreas (Este de Londres- Reino Unido y Berlín- Alemania)” cuya

autoría Green City Solutions (2020); consisten en paredes con una altura ligeramente superior a tres metros, que albergan una diversidad de musgos. Estos musgos tienen la particularidad de que, en sustratos específicos, se les incorporan nanopartículas de liberación prolongada. Esta incorporación de nanopartículas tiene como resultado la capacidad natural de filtrar contaminantes del aire, tales como partículas y óxidos de nitrógeno, transformándolos en elementos purificados. Cabe destacar que el musgo, por su amplia área de superficie foliar en comparación con otras plantas, presenta una notable capacidad para retener una variedad de contaminantes, incluyendo dióxido de carbono, óxido de nitrógeno y polvo, al mismo tiempo que contribuye al enfriamiento del aire circundante.

Finalmente, el proyecto denominado "Tejados que reducen el smog", desarrollado por la Corporación 3M en Estados Unidos en el año 2019, introduce una tecnología de recubrimiento nanofotocatalítico innovadora que se activa mediante la exposición a la radiación ultravioleta solar. Este caso ejemplifica la aplicabilidad y la sostenibilidad de la nanotecnología en la fabricación de recubrimientos destinados a mejorar tanto la calidad como el diseño de productos. Las nanopartículas exhiben la capacidad de autoorganizarse y formar una capa adhesiva sobre la superficie de aplicación. En superficies lisas e impermeables, estas nanopartículas tienen la capacidad de generar rápidamente una capa protectora que repela la suciedad y la humedad. Estos compuestos nanométricos proporcionan propiedades mejoradas a los recubrimientos, tales como mayor resistencia al desgaste, a los arañazos, a la abrasión y al impacto, así como una mayor capacidad para resistir el agrietamiento.

12. IMPACTOS

12.1. Impacto técnico

Los compuestos que contienen nanopartículas generalmente no implican un riesgo, salvo ciertos atributos particulares como su movilidad y mayor reactividad, que podrían potencialmente convertirlos en peligrosos. Solo en situaciones donde determinadas características de estas nanopartículas puedan causar daño a los organismos vivos o al entorno ambiental, se plantea una amenaza real. En tales escenarios, puede surgir lo que se denomina "nanocontaminación", un concepto que engloba todos los residuos generados por nanodispositivos o durante el proceso de manufactura de nanomateriales. Los nanorresiduos, conformados principalmente por partículas liberadas en el medio ambiente o desechadas

durante el uso de productos que las contienen, constituyen una categoría importante dentro de este contexto.

Tomando en consideración los nanomateriales, los cuales comprenden una diversidad de estructuras como nanoestructuras, nanocompuestos, superficies nanoestructuradas y nanocomponentes (tales como dispositivos electrónicos, ópticos, sensores, entre otros), se advierte que las partículas a escala nano se incorporan en una sustancia, material o dispositivo, dando lugar a nanopartículas "incorporadas". Por otro lado, se encuentran las nanopartículas "libres", que consisten en partículas individuales de una sustancia nanoescalar presentes en algún momento durante la fabricación o utilización. Estas nanopartículas libres pueden ser tanto especies elementales a nanoescala como compuestos más elaborados, como las nanopartículas recubiertas, donde una nanopartícula de cierto elemento se encuentra cubierta con otra sustancia. Existe un amplio acuerdo en la comunidad científica en que, si bien es importante considerar la presencia de materiales que contienen nanopartículas incorporadas, la atención primordial se centra en las nanopartículas libres.

Sin embargo, al evaluar el impacto técnico del empleo de nanopartículas, resulta crucial tener en cuenta que los polvos o líquidos que contienen estas nanopartículas rara vez se encuentran en un estado monodisperso, sino que exhiben una distribución de tamaños de partículas. Esta situación complica el análisis experimental, dado que las nanopartículas de mayor tamaño pueden presentar propiedades distintas a las de las de menor tamaño. Además, las nanopartículas tienden a agregarse, y estos agregados suelen mostrar un comportamiento diferenciado respecto a las nanopartículas individuales.

12.2. Impacto social

La nanotecnología implica un impacto social considerable y plantea desafíos sociales significativos. Los especialistas en ciencias sociales proponen que los problemas sociales vinculados a la nanotecnología deben ser analizados y evaluados no únicamente como riesgos o efectos secundarios, sino más bien como desafíos que deben ser considerados desde las etapas iniciales de la investigación y el proceso de toma de decisiones, con el propósito de garantizar el desarrollo de tecnologías que aborden las necesidades sociales de manera efectiva.

Muchos científicos sociales y organizaciones de la comunidad civil recomiendan que la evaluación y la gobernanza de la tecnología también deberían incluir la participación pública. La exploración de la percepción de las partes interesadas también es un elemento esencial en la evaluación de la gran cantidad de riesgo asociado con la nanotecnología y los productos relacionados con la nanotecnología.

Las nanotecnologías ofrecen nuevas perspectivas para abordar las necesidades de millones de personas en países en desarrollo que enfrentan dificultades de acceso a servicios básicos como agua potable, energía confiable, atención médica y educación. Según el Grupo de Trabajo de la ONU sobre Ciencia, Tecnología e Innovación de 2004, se identifican diversas ventajas potenciales de la nanotecnología, como la capacidad de producción con baja exigencia de mano de obra, tierra o mantenimiento, alta eficiencia, costos reducidos y un consumo moderado de materiales y energía. Sin embargo, persiste la preocupación por la distribución desigual de los supuestos beneficios de la nanotecnología, y se plantea la posibilidad de que dichos beneficios, tanto técnicos como económicos, se concentren principalmente en las naciones más desarrolladas.

Las preocupaciones a más largo plazo se centran en el impacto que tendrán las nuevas tecnologías para la sociedad en general, y si estas podrían conducir a una economía posterior a la escasez o, alternativamente, exacerbar la brecha de riqueza entre las naciones desarrolladas y en desarrollo. Los efectos de la nanotecnología sobre la sociedad en su conjunto, sobre el medio ambiente, sobre el comercio, sobre la seguridad, sobre los sistemas alimentarios e incluso sobre la definición de "humano", no han sido caracterizados ni politizados.

12.3. Impacto ambiental

El impacto ambiental de la nanotecnología se centra en las posibles consecuencias derivadas del uso de materiales y dispositivos nanotecnológicos en el entorno natural. Dado que la nanotecnología es un campo en evolución, surgen preguntas sobre el alcance del impacto que la aplicación industrial y comercial de los nanomateriales tendrá en los organismos y ecosistemas.

El efecto ambiental de la nanotecnología puede ser analizado desde dos perspectivas: el potencial de las innovaciones en nanotecnología para promover mejoras en el medio ambiente

y el riesgo eventual de contaminación derivado de la liberación de materiales nanotecnológicos en el entorno, lo cual representa un tipo de contaminación con características potencialmente novedosas.

Por su parte la nanotecnología aplicada al medio ambiente tiene como objetivos principales la producción de nanomateriales y productos que no causen daño al entorno ni a la salud humana, así como la generación de nanoprodutos que aborden problemas ambientales específicos. Este enfoque se basa en los principios de la química verde y la ingeniería verde, los cuales buscan fabricar nanomateriales y nanoprodutos libres de sustancias tóxicas, utilizando procesos de baja temperatura y consumo energético reducido, e incorporando insumos renovables en la medida de lo posible. Además, se aplica el concepto de ciclo de vida en todas las etapas del diseño y la ingeniería de estos productos.

13. CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos y los objetivos planteados en el estudio, se puede establecer como conclusiones las siguientes:

La exploración de bases de datos e información relacionada con las investigaciones y avances más recientes en la nanotecnología ha demostrado ser una herramienta innovadora y eficaz para enfrentar desafíos ambientales, ofreciendo soluciones sostenibles y respetuosas con el entorno. A través de la manipulación a escala manométrica, se ha logrado desarrollar tecnologías que permiten la remediación de contaminantes en el agua, suelo, aire y la gestión eficiente de recurso. Estos avances crean un futuro más limpio y sostenible, donde la nanotecnología surge como una aliada importante en la búsqueda de soluciones para preservar y mejorar nuestro entorno.

El Impacto de la Nanotecnología en la mejora de recursos para promover la sostenibilidad, la nanotecnología se destaca como una herramienta clave en la detección y tratamiento de contaminantes, especialmente en el campo de la remediación del agua. La versatilidad de las nanopartículas, utilizadas en procesos como remoción, absorción, filtración, desinfección y antibacteriales, ha sido validada por diversas organizaciones en Latinoamérica, demostrando la adaptabilidad de esta tecnología a diferentes contextos y aplicaciones. Se resalta el papel importante de la nanotecnología, particularmente enfocada en nanotubos de carbono y nanomembranas, ocupando más del 60% en la purificación del agua.

La capacidad de la nanotecnología para crear soluciones tecnológicas que sean ambientalmente sostenibles se revela como una herramienta excepcionalmente eficaz para abordar desafíos medioambientales y promover la sostenibilidad. Más allá de la manipulación de materiales a nivel nanométrico, su impacto se traduce en una redefinición estratégica para enfrentar problemáticas cruciales en la búsqueda de desarrollo sostenible. Ejemplos concretos, como el proyecto de murales gigantes en la Ciudad de México y el desarrollo de pinturas nanotecnológicas, subrayan la capacidad de la nanotecnología para ofrecer soluciones eficientes y sostenibles, descomponiendo compuestos orgánicos volátiles y mejorando la calidad del aire en espacios abiertos. Iniciativas como los paneles de cultivos biosolares y las paredes arbóreas demuestran cómo las nanopartículas pueden potenciar procesos fotosintéticos, detener CO₂ y filtrar contaminantes, marcando avances significativos en la mitigación del cambio climático. Por otro lado, el proyecto de "Tejados que reducen el smog" de la Corporación 3M ejemplifica la aplicación sostenible de la nanotecnología en recubrimientos, evidenciando cómo las nanopartículas pueden mejorar tanto la funcionalidad como el diseño de productos cotidianos, destacando así su impacto positivo en la sostenibilidad ambiental.

14. RECOMENDACIONES

Sobre la base de las conclusiones establecidas en este estudio se pueden indicar como recomendaciones las siguientes:

Las entidades gubernamentales y las Instituciones de Educación Superior deben continuar y ampliar la exploración de bases de datos y la información relacionada con la nanotecnología para mantenerse al día con los últimos avances y así mantener un seguimiento constante de las investigaciones y desarrollos en este campo, lo cual permitirá contribuir significativamente a la preservación y mejora del entorno a través de soluciones innovadoras y respetuosas con el medio ambiente y sostenibles.

Se recomienda, a las autoridades y sociedad en general adaptarse a una nueva visión del mundo para facilitar el desarrollo humano sobre la base de la generación de conocimiento científico y tecnológico para la innovación de las tecnologías transformativas; en todos los niveles de la sociedad, para garantizar mejores niveles de competitividad y desarrollo humano y así alcanzar un desarrollo sostenible. En especial en áreas como la remediación del agua aprovechando la versatilidad de las nanopartículas en remoción, absorción, filtración, desinfección o

antibacteriales. Además, se sugiere una atención especial al carbono, dado su estatus como elemento fundamental en la vida, y se propone abordar este tema en futuros proyectos.

Se sugiere que gobiernos, entidades ambientales y empresas consideren la implementación de estas tecnologías en proyectos a gran escala, aprovechando los beneficios demostrados de la nanotecnología en la purificación del aire y la creación de entornos más saludables y sostenibles. Así mismo, se recomienda enfáticamente a los entes gubernamentales la integración y expansión de proyectos similares en distintos entornos urbanos y regiones.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, Y., & González, E. (2021). Uso responsable y sostenible de nanomateriales en laboratorios de enseñanza e investigación. *Tecne, Episteme y Didaxis*, 9(1), 358-370. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/15116/9924>
- Alvarez, M. (2021). Contaminantes emergentes en aguas y remediación de suelos con nanopartículas. *Tendencias UAP*, 6(24), 150-70. doi:<http://doi.org/10.5281/zenodo.5594782>
- Ancco, P. (2019). *Caracterización de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en los frutos silvestres de Citharexylum dentatum D. Don (Yanali) y Hesperomeles escalloniifolia Schltdl (Capachu)*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional José María Argueda], Repositorio institucional unajma. https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/680/Porfirio_Tesis_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Andrade, M. (2022). *Estudio de partículas de carbono obtenidas mediante el método hidrotérmico*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Politécnica Nacional], Repositorio institucional epn. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22912/1/CD%2012368.pdf>
- Arteaga, E., & Foladori, G. (2023). Nanomateriales en alimentos, cosméticos y agroquímicos en México. *Relans*, 1(1), 1-2. <https://ipen.org/sites/default/files/documents/nano.pdf>
- Borja, J., & Rojas, B. (2020). Nanomateriales: métodos de síntesis. *Polo edl Conocimiento*, 5(8), 426-445. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1597>
- Cajiga, F. (19 de 08 de 2023). Nanotecnología y Sostenibilidad: Un Enfoque Innovador para la Recuperación de Suelos. Mexico, DF, Mexico. <https://www.linkedin.com/pulse/nanotecnolog%C3%ADa-y-sostenibilidad-un-enfoque-innovador-para-cajiga-/?originalSubdomain=es>
- Campaña, S. (2019). *Funcionalización periférica de dendrímeros rígidos de tetrafenilmetano*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Santiago de Compostela], Repositorio institucional ucs. https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/20865/rep_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cardoso, A. (2023). *Estudio teórico-experimental de nanomateriales compuestos con base de carbono para la detección de moléculas orgánicas*. [Tesis de Maestría, Universidad

- Autónoma del Estado de Morelos], Repositorio institucional uaem.
<http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/4088>
- Castañeda, O., & López, B. (2019). Castañeda Olvera, J. Panorama de la investigación y desarrollo de las nanotecnologías para el tratamiento de agua en México. *Revista Posgrado y Sociedad Universidad Estatal a Distancia.*, 16-22.
- Castro, D. (2019). *Desarrollo de andamios bioactivos a partir de materiales obtenidos por métodos eco-amigables*. [Tesis para optar el título de Bioingeniero, Universidad Autónoma de Baja California], Repositorio institucional uabc.
<https://repositorioinstitucional.uabc.mx/server/api/core/bitstreams/d9789002-dd5e-4ba7-9ff3-f689f7c8575c/content>
- CENCINAT. (2023). *Proyectos*. <https://cencinat.espe.edu.ec/proyectos-investigacion/>
- CIDNA. (2023). *Nanotecnología: Investigación*. <http://cidna.espol.edu.ec/areas>
- Codina, L. (2020). Cómo hacer revisiones bibliográficas tradicionales o sistemáticas utilizando bases de datos académicas. *Rev. ORL*, 12(2), 139-153.
 doi:<https://doi.org/10.14201/orl.22977>
- College y Arborea. (2019). *Desarrollan hoja BioSolar que absorbe tanto dióxido de carbono como 100 árboles*. <https://elluchador.info/2019/06/desarrollan-hoja-biosolar-que-absorbe-tanto-dioxido-de-carbono-como-100-arboles/>
- Corpus, C., Rodríguez, G., & Navarro, G. (2023). Nanomateriales: un rompecabezas científico. *Elementos* 129, 129(1), 41-46.
<https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000008143.pdf>
- Cruz, K. (2021). *Síntesis de ZnO por microondas para aplicarlo como fotocatalizador*. [Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla], Repositorio institucional buap. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/e1c7a366-3809-4b16-ab0f-6ea2fb5d7197>
- Das, G., Kumar, J., Paramithiotis, S., & Shin, H. (2019). The Sustainability Challenge of Food and Environmental Nanotechnology: Current Status and Imminent Perceptions. *Int J Environ Res Public Health*, 16(23), 1-16.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6926672/>
- Delgado, B. (2019). *Síntesis de dendrímeros mediante cocoadición azida-alquino asistida por microondas*. [Tesis de grado, Universidad de Santiago de Compostela], Repositorio institucional usc.

- <https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/26437/Delgado%20Gonz%c3%a1lez%20Bruno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dixit, A., & Chaudhary, R. (2020). Sustainability: an essential concept for current and upcoming technological practices. *International Symposium on Fusion of Science and Technology (ISFT 2020)*, 804(1), 1-7. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/804/1/012023/pdf>
- Estrada, S., Garcias, C., Pérez, C., & Cantu, L. (09 de Marzo de 2023). *Nanomateriales: conceptos, aplicación en nanoterapia y regulaciones*. <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v22n1/E0242.pdf>
- Fow, E., & Jeanpier, A. (2021). Fow Esteves, Evaluación de la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas asistidas con Nanopartículas de carbono en suelos contaminados por drenaje ácido de roca en la microcuenca Quillcayhuanca, Ancash. *Resvista Científica*, 15-18.
- Frenzilli, G. (2020). Nanotechnology for Environmental and Biomedical Research. *Nanomaterials*, 10(11), 1-4. doi:<https://doi.org/10.3390/nano10112220>
- García, J., & Sánchez, P. (2020). Diseño teórico de la investigación: instrucciones metodológicas para el desarrollo de propuestas y proyectos de investigación científica. *Revista Información tecnológica*, 31(6), 159-170. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000600159>
- García, X., Borrás, A., Barranco, A., & Martínez, L. (2020). Fabricación de nanomateriales 1D Y 3D para el desarrollo de nanogeneradores piezoeléctricos y triboeléctricos. *Sociemat*, 5(1), 1-4. <https://sociemat.es/wp-content/uploads/2022/10/MES-21-001-X-Garcia.pdf>
- Gómez, C., Zaca, P., & Zaca, O. (2022). Los nanomateriales y su importancia en la síntesis amigable con el medio ambiente. *RD-ICUAP*, 9(25), 162-170. <http://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicuap/article/view/1062/1111>
- Guevara, R. (2016). El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos? *Revista Folios*, 44(1), 165-179. <https://www.redalyc.org/pdf/3459/345945922011.pdf>
- Hernandez, A. (2020). *Nanotecnología aplicada a remediación ambiental: cuatro estudios de caso*. Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. Lima: HGT.
- Hernandez, A., Salinas, F., Gómez, I., Ruíz, M., García, G., Chavez, L., & . (2023). Pruebas toxicológicas para la evaluación de nanomateriales: Artículo de revisión. *Pädi Boletín*

- Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 11(5), 88-101.
doi:<https://doi.org/10.29057/icbi.v11iEspecial5.11825>
- Hernández, C. (2020). Efectos de micro y nano burbujas en tratamientos de aguas residuales domésticas: el caso de pasca, cundinamarca. *Udec*, 1(1), 12-23.
doi:<http://hdl.handle.net/20.500.12558/2334>
- Hernández, G., Castillo, K., Olivares, L., Sánchez, A., Hernández, A., Rangel, M., & Torres, L. (2022). Proceso para la realización de una revisión bibliográfica en Investigaciones clínicas. *Digital Ciencia*, 15(1), 51-61.
<https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/686/763>
- Jiménez, L. (2022). Desarrollo, aplicaciones y desafíos de la nanomedicina. *Ecimed*, 38(1), 1-24. <https://revinfodir.sld.cu/index.php/infodir/article/view/1216/1572>
- Junco, D. (2023). *Evaluación de los procesos que rigen el método sol-gel con el fin de identificar su aplicación en la liberación controlada de fármacos: Una revisión*. [Tesis para optar el título de Químico Farmacéutico, Universidad del Bosque], Repositorio institucional unbosque.
<https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/10638/Evaluaci%3b%20de%20los%20procesos%20que%20rigen%20el%20m%20c%20a%20todo%20Sol-gel%20con%20el%20fin%20de%20identificar%20su%20aplicaci%3b%20en%20la%20liberaci%3b%20controlada%20>
- Liébana, A. (2020). *Materiales Nanoestructurados de carbono*. [Tesis de fin de grado, Universidad de Jaén], Repositorio institucional ujaen.
<https://crea.ujaen.es/bitstream/10953.1/12268/1/TFG%20ALEJANDRO%20LIEBAN A%20ORTEGA.pdf>
- Loera, S., Ruiz, J., Flores, J., & Soto, L. (2021). Protegiendo fármacos con nanomateriales inteligentes. *Mundo Nano*, 5(1), 1-4.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912012000100059
- López, V. (2023). Uso de la nanotecnología en los diferentes sistemas productivos. *Milenario, ciencia y arte*, 1(22), 19-22. doi:<https://doi.org/10.35830/mcya.vi22.410>
- Magdaleno-García, G. & -L. (2023). Nanotecnología en la agricultura: pequeñas soluciones para grandes desafíos. *Nanoagricultura*, 54-69.

- Magdaleno-García, Guadalupe & Méndez-López, Alonso. . (16 de 11 de 2023). *Nanotecnología en la agricultura: pequeñas soluciones para grandes desafíos. 1. 59-64.*
- Malik, S., Muhammad, K., Waheed, Y., ., ., & . (2023). Nanotechnology: A Revolution in Modern Industry. *Molecules*, 28(2), 1-26. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9865684/>
- Mandeep, A., & Shukla, P. (2020). Microbial Nanotechnology for Bioremediation of Industrial Wastewater. *Frontiers in Microbiology*, 11(2020), 1-8. doi:<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.590631>
- Márquez, D., Hernández, A., Márquez, L., & Casas, M. (2021). La educación ambiental: evolución conceptual y metodológica hacia los objetivos del desarrollo sostenible. *13(2)*, 301-310. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v13n2/2218-3620-rus-13-02-301.pdf>
- Martínez, A., Hernández, J., Villalpando, D., Villapudua, G., ., ., & . (2020). La nanotecnología ha emergido como una disciplina científica y tecnológica altamente prometedora en las últimas décadas, con aplicaciones en una amplia variedad de campos. *RITI Journal*, 8(16), 56-96. doi:<https://doi.org/10.36825/RITI.08.16.006>
- Martínez, G., Merinero, M., Pérez, M., Pérez, E., Ortiz, T., Villamor, E., (2021). Environmental Impact of Nanoparticles' Application as an Emerging Technology: A Review. *Materials*, 14(1), 1-26. doi:<https://doi.org/10.3390/ma14010166>
- Moameri, M., & Abbasi Khalaki, M. (2020). Capability of *Secale montanum* trusted for ANÁLISIS TEÓRICO NANO-BIORREMEDIACIÓN SUELOS 59 phytoremediation of lead and cadmium in soils amended with nano-silica and municipal solid waste compost. *Environmental Sci. Environ Sci Pollut Res Int*, 26(24), 1-15. doi:[10.1007/s11356-017-0544-7](https://doi.org/10.1007/s11356-017-0544-7).
- Molina, S. (2021). Fabricación aditiva: de los nanomateriales a la fabricación en gran formato. *Sociemat*, 5(3), 46-51. <https://sociemat.es/wp-content/uploads/2022/10/MES-21-012-S.I.-Molina.pdf>
- Montero, D. (2023). *Preparación de sistemas coloidales sostenibles basados en almidón para la encapsulación de biocompuestos con actividad microbiana*. [Tesis de Maestría, Universidad de Oviedo], Repositorio institucional uniovi. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/69108/TFM_DiegoHernanMonteroFlor.pdf?sequence=4

- Morán, J., & Rodríguez, J. (2020). *Los materiales nanoestructurados*. Madrid: Permalink. https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=yvxFEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Materiales+Nanoestructurados&ots=Jj7z1PPwDQ&sig=hOrMenCSUduUvz0wBIC4ragOO6o&redir_esc=y#v=onepage&q=Materiales%20Nanoestructurados&f=false
- Murru, C. (2021). *Potencial tecnológico de los puntos cuánticos de carbono antioxidantes: el impulso hacia metodologías verdes y nanotecnología sostenibles*. [Tesis doctoral, Universidad de Oviedo], Repositorio institucional uo. <http://hdl.handle.net/10651/61888>
- Nath, A. (2021). Nanotechnology for agro-environmental sustainability. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 9(4), 1-6. https://jabonline.in/admin/php/uploads/619_pdf.pdf
- Neme, K. N. (14 de 4 de 2021). Neme, K., Nafady, A., Uddin, S., Tola, Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: food security implication and challenges. *Heliyon*, 7(12), art. núm. e08539. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08539>. E.E.U.U.
- Neme, K., Nafady, A., Uddin, S., & Tola, Y. (2021). Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: food security implication and challenges. *Heliyon*, 7(12), art. núm. e08539. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08539>. *Heliyon*, 7(12), 1-20. doi:10.1016/j.heliyon.2021.e08539.
- NNI. (2023). *National Nanotechnology Initiative*. <https://www.nano.gov/national-nanotechnology-initiative>
- Nzil, D., Shigwenya, E., Makhanu, D., Otenda, B., Gachoki, P., Kinoti, P., . . . (2023). Environmental remediation using nanomaterial as adsorbents for emerging micropollutants. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 20(1), 1-9. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215153223000132?via%3Dihub>
- Ojeda, K. (2023). Nanotecnología la ciencia del hoy y del mañana. *Juventud y Ciencia Solidaria*, 1(13), 93-97. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24920>
- ONU. (2023). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

- Páez, T. (2022). Nanotecnología en el Mundo: Marco Regulatorio. *SEK*, 1(1), 1-17. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4603/1/P%C3%A1ez%20Aguina%20Tania%20Judith.pdf>
- Palit, S., & Hussain, C. (2020). *Handbook of Functionalized Nanomaterials for Industrial Applications*. Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816787-8.00001-6>
- Pavlyk, N., Seiko, N., & Sytniakivska, S. (2021). The concept of "environmental sustainability" in scientific and information space. *OP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 915(1), 1-9. doi:10.1088/1755-1315/915/1/012015
- Pilaquinga, F., Pazmiño, K., Robalino, A., Jara, E., López, F., Meneses, L., . . . Debut, A. (2019). Síntesis verde de nanopartículas de plata usando el extracto acuoso de las hojas de ajo. *Infoanalítica*, 7(2), 41-55. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7113299>
- Pokrajac, L., Abbas, A., Chrzanowski, W., Dias, G., Eggleton, B., Maguire, S., & Maine, E. (2021). Nanotechnology for a Sustainable Future: Addressing Global Challenges with the International Network for Sustainable Nanotechnology. *ACS Nano*, 15(12), 18608–18623. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.1c10919>
- Quesada, A., & Medina, A. (2020). Metodologías teóricas de investigación: análisis-síntesis, inducción-deducción, abstracto-concreto e histórico-lógico. *Universidad de Matanzas*, 1(1), 1-19. <https://www.researchgate.net/publication/347987929>
- Rathinaraj, S., De Lima, F., Pereira, E., Florindo, M., . . . (2020). Current trends in nanotechnology for bioremediation. *International Journal of Environment and Pollution*, 66(3), 1-15. doi:<https://doi.org/10.1504/IJEP.2019.104526>
- Ríos, C. (2022). *Riesgos emergentes: Nanomateriales*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cartagena], Repositorio institucional upct. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/10724/tfm-rio-rie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero, M. (2020). *Principios para la supervisión y regulación de nanomateriales y nanotecnología*. Bogotá: Neogranadina. doi:<https://doi.org/10.18359/litgris.5074>
- Roy, A., Sharma, A., Yadav, S., Tesfaye, L., Krishnaraj, R., . . . (2021). Nanomaterials for Remediation of Environmental Pollutants. *Bioinorg Chem Appl*, 2021(1), 1-15. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8727162/>
- Ruiz, A., Gutiérrez, A., Luna, D., Vega, J., Guillèn, G., Lozano, A., & Campos, J. (2021). Síntesis de nanoestructuras de carbono mediante la Técnica de Deposición Química de

- Vapores: Una revisión general. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24(1), 1-10. doi:<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.323>
- Salcedo, P., & Horcajada, P. (2020). Redes Metal-Orgánicas Tipos, síntesis, modificaciones y materiales compuestos. *Canales de Química de la RSEQ*, 117(2), 92-99. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8109666>
- Saldivar, L. (2020). Regulación blanda, normas técnicas y armonización regulatoria internacional, para la nanotecnología. *Mundo Nano*, 13(24), 1-27. <https://www.scielo.org.mx/pdf/mn/v13n24/2448-5691-mn-13-24-e0014.pdf>
- Santamaría, C., & David, J. (2020). *Actuadores basados en carbono : principios físicos y preparación*. [Tesis para optar título de Físico, Universidad de los Andes], Repositorio institucional uniandes. <http://hdl.handle.net/1992/51260>
- Seminario, C. (2022). *Deformación de Red de Películas Delgadas de MoN en Función de la Temperatura del Sustrato*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Piura], Repositorio institucional researchgate. https://www.researchgate.net/profile/Carmen-Seminario-Panta/publication/369965641_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_PIURA_FACULTAD_DE_CIENCIAS_ESCUELA_PROFESIONAL_DE_FISICA/links/6436d64620f25554da298183/UNIVERSIDAD-NACIONAL-DE-PIURA-FACULTAD-DE-CIENCIAS-ESCUELA-PR
- Serena, P. (2021). Buscando la sostenibilidad: un encaje de la nanotecnología. *Encuentros Multidisciplinares*, 69(1), 1-16. <http://www.encuentros-multidisciplinares.org/revista-69/pedro-serena.pdf>
- Silva, J., & Medina, C. (2022). *Materiales y nanomateriales. Principios, aplicaciones y técnicas de caracterización*. La Caracola. <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2022-09-12-151431-Materiales%20y%20nanomateriales.pdf>
- Song, B. X. (25 de 11 de 2019). *Using nanomaterials to facilitate the phytoremediation of contaminated soil*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.155889>
- <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.155889>
- Statnano. (22 de 7 de 2023). *Nanomateriales Morphologies*. <https://statnano.com/nanomaterials#ixzz8Nxs2McLx>

- Sun, H. (2019). Grand Challenges in Environmental Nanotechnology. *Front. Nanotechnol.*, 1(1), 1-3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnano.2019.00002/full>
- Taran, M., Safaei, M., Karimi, N., Almasi, A., .., & . (2021). Benefits and Application of Nanotechnology in Environmental Science: an Overview. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(1), 7860 - 7870. <https://biointerfaceresearch.com/wp-content/uploads/2020/07/20695837111.78607870.pdf>
- UEFSA. (2023). *Nanotecnología*. <https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/nanotechnology>
- Valenzuela, H., Vázquez, P., Zazueta, D., López, J., Rojas, J., .., & . (2023). Síntesis verde de nanopartículas de magnetita (NPs-Fe₃O₄): factores y limitaciones. *Mundo Nano*, 16(30), 1-18. doi:<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69744>
- Vázquez, E. (2023). Uso de nanomateriales en la agricultura y sus implicaciones ecológicas y ambientales. *Mundo Nano*, 16(30), 1-25. <http://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/69704>
- Vázquez, E., Molina, C., Peña, J., Fernández, F., & De la Rosa, G. (2020). Use of Nanotechnology for the Bioremediation of Contaminants: A Review. *Processes Journal*, 8(7), 2-17. doi:<https://doi.org/10.3390/pr8070826>
- Vega Guevara, F. R. (2021). *Aplicación de nanocarbono en la fitorremediación de arsénico y plomo usando Zea Mays en suelos contaminados con relaves mineros*, . Cerro de Pasco.
- Zarazua, Y., Velásquez, F., & Garzón, A. (2023). Las microondas en la síntesis de nanomateriales. 24(5), 1-8. https://www.revista.unam.mx/2023v24n5/las_microondas_en_la_sintesis_de_nanomat_eriales/