

NANOTECNOLOGÍA EN CHIAPAS: INTERSECCIONES ENTRE EDUCACIÓN SUPERIOR E INVESTIGACIÓN DESDE UNA MIRADA ACADÉMICA.

Pedro Gerardo Trejo-Flores^a, César Augusto Camas-Flores^b, Magín González- Moscoso^c, Francisco Sebastián Ramírez-González^d, Luis Dorian Valencia-Ordoñez^e.

^aProfesor titular de tiempo completo y coordinador del programa de Ingeniería en Nanotecnología de la Universidad Politécnica de Chiapas. Doctorante en el Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables de la UNICACH.

^bProfesor de asignatura del programa de Ingeniería en Nanotecnología de la Universidad Politécnica de Chiapas.

^cProfesor de asignatura del programa de Ingeniería en Nanotecnología de la Universidad Politécnica de Chiapas. Posdoctorante en el Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez

^dProfesor de asignatura del programa de Ingeniería en Nanotecnología a de la Universidad Politécnica de Chiapas. Posdoctorante en el Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables de la UNICACH

^eProfesor titular de tiempo completo del programa de Ingeniería en Nanotecnología de la Universidad Politécnica de Chiapas.

Autor de correspondencia: lvalencia@upchiapas.edu.mx

RESUMEN

La presente revisión analiza el desarrollo tecnológico e investigativo en el área de la nanotecnología en el estado de Chiapas, México. A partir de una revisión de literatura académica y de proyectos impulsados por instituciones locales, se expone una visión histórica, un panorama actual de la investigación nanotecnológica y una propuesta de líneas estratégicas para su consolidación. Se destacan las contribuciones de universidades e institutos como la Universidad Politécnica de Chiapas, la Universidad Politécnica de Tapachula, la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) y el Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, así como las potenciales aplicaciones de la nanotecnología en los ámbitos energético,

ambiental, agroindustrial y biomédico. Finalmente, se plantea una hoja de ruta que articula la formación académica con las necesidades territoriales, promoviendo la innovación sustentable y el desarrollo regional.

Palabras clave: Nanotecnología, Chiapas, desarrollo tecnológico, investigación científica, innovación regional.

INTRODUCCIÓN

El término "nano" proviene del prefijo griego nanos, que significa "enano", y en ciencia se utiliza como unidad de medida de longitud, el nanómetro (nm), que equivale a una milmillonésima parte de un metro (10^{-9} m) (Mendoza Uribe & Rodríguez-López, 2007). Para ponerlo en perspectiva, un nanómetro es

aproximadamente 80,000 veces más pequeño que el diámetro de un cabello humano. La clave de la nanotecnología reside en que, a esta escala, los materiales exhiben propiedades físicas y químicas novedosas y diferentes a las que presentan a escala macroscópica, lo que permite a los científicos e ingenieros explotar estos fenómenos únicos para desarrollar innovaciones tecnológicas en una amplia gama de campos, desde la medicina hasta la electrónica y la industria (Trejo, 2022; Zambrano Romero, 2020).

La nanotecnología ha emergido como una disciplina científica con alto potencial de transformación en los campos industrial, médico, energético, ambiental y de alimentos (Anta Félez, 2023). El interés científico y las líneas de investigación permiten la vinculación de la academia con diferentes sectores productivos, como la industria automotriz, donde se utilizan nanocompuestos en polímeros para aligerar materiales y recubrimientos protectores con nanopartículas de silicio; la electrónica, con la incorporación de nanocomponentes en pantallas planas; la industria de alimentos, el desarrollo de envases inteligentes y mejora de propiedades alimentarias; aeroespacial, para utilizar materiales más ligeros y resistentes; la energética, para fabricar paneles solares más eficientes (Sharma et al., 2021). Estas aplicaciones buscan optimizar propiedades de los materiales, mejorar la eficiencia de los procesos y generar productos con mayor valor agregado, lo que posiciona a la industria en una estrecha relación con la nanotecnología.

En México, el desarrollo de la nanotecnología se ha vinculado

principalmente a proyectos científicos y académicos en nanociencias y nanotecnología (Trujillo-Cancino & Limaymanta, 2023), realizados principalmente en instituciones de educación superior y centros de investigación, los cuales han desempeñado un papel clave en la formación de recursos humanos especializados. Los resultados de la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET) publicados en el año 2017 reportaron 144 empresas que realizaban actividades relacionadas con el uso de nanotecnologías, de entre las cuales, 69 empresas realizaron actividades de Investigación y Desarrollo (INEGI, 2017; Villa Vázquez, 2022). Es de esperarse que, para 2025, el número de empresas se hubiese incrementado. En el estado de Chiapas, esta disciplina comienza a consolidarse como una línea estratégica de innovación y sostenibilidad, al integrarse en proyectos regionales orientados al aprovechamiento de los recursos naturales, la energía limpia y la biotecnología aplicada (Aguirre, 2017).

Reseña histórica del desarrollo nanotecnológico en Chiapas.

En Chiapas, el impulso a la nanotecnología ha tenido lugar desde los programas de ingeniería y posgrado, orientados a la ciencia de materiales y la innovación tecnológica. Diversos autores pertenecientes a las instituciones públicas del Estado han publicado diversos trabajos relacionados con nanotecnología, aquí se menciona sólo uno de los trabajos por institución, con la finalidad de ejemplificar. Investigadores del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) publicaron el trabajo “Uso

de nanopartículas magnéticas eléctricamente activas para el diagnóstico rápido y de bajo costo de Tuberculosis Pulmonar en Chiapas, México” (Gordillo Marroquín, 2017).

El primer autor del artículo “Aplicación foliar de nanopartículas verdes en plantas de *Annona muricata* L. y sus efectos en parámetros fisiológicos y bioquímicos” tiene adscripción al Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez (TecNM-Tuxtla) (Jonapá-Hernández et al., 2020).

La tesis de maestría “Estudio de una celda solar sensibilizada con colorantes naturales basada en ZnO” reporta la síntesis de nanopartículas de óxido de zinc (Zn), tesis defendida en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) (Flota Robledo, 2015).

En el TecNM-Tuxtla se tiene registro de la tesis de Licenciatura “Síntesis de la Película delgada de microesferas abiertas de nanovarillas de TiO₂ Aplicado como sensor electroquímico de Hg²⁺” (Hinostroza Mojarro, 2018).

Además, en la Tabla 1 se muestran algunos trabajos de investigación desarrollados en el TecNM-Tuxtla. Por otro lado, investigadores del Instituto de Biociencias de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), sede Tapachula, publicaron “Capacidad repelente de nanopartículas de extractos etanólicos de propóleos de abejas nativas contra *Colaspis hypochlora*” (Figueroa-Constantino et al., 2023).

Tabla 1. Algunas publicaciones relacionadas con nanotecnología, cuyos autores tienen adscripción En el instituto tecnológico nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez.				
Tipo de publicación	Nombre del artículo	Nombre de la revista	Área de aplicación	Referencias
Investigación	Fitonanopartículas bimetálicas de crotalaria longirostrata y su efecto acaricida sobre tetranychus urticae	Tropical and Subtropical Agroecosystems	Nanotecnología Agrícola	León-Jiménez et al., 2025.
Investigación	Biological properties of zno phytonanoparticles obtained from Annona muricata l. fruit pulp for possible co-administration with probiotics strains.	Journal of microbiology, biotechnology and food sciences	Microbiología, biotecnología y ciencias de la alimentación	Morales-Ruiz et al., 2024.
Investigación	Effect of zinc and magnesium oxide phytonanoparticles on the production of rebaudiosides and phenolic compounds in Stevia rebaudiana Bertoni plant.	Biotechnia	Ciencias Biológicas y de la Salud	Velázquez-Gamboa et al., 2024.
Investigación	Biosynthesis of Copper Nanoparticles from Acacia cornigera and Annona purpurea and Their Insecticidal Effect against Tribolium castaneum.	Reactions	Nanotecnología Agrícola	Solorzano-Toala et al., 2024.

Investigación	Stimulation of morphometric parameters and zinc content of native maize by priming with zinc oxide phytonanoparticles.	Revista Mexicana de Ingeniería Química	Nanotecnología Agrícola	Lecona-Guzmán et al., 2024.
Investigación	Desarrollo y caracterización de películas activas con nanopartículas de plata obtenidas mediante síntesis verde.	Biotecnia	Ciencias Biológicas y de la Salud	Estudillo-Díaz et al., 2023.
Investigación	Caracterización estructural y funcional de nanopartículas de ZnO-EPS sintetizadas a partir de exopolisacáridos producidos por <i>Lactiplantibacillus fabifermentans</i> BAL-27-ITTG.	Biotecnia	Ciencias Biológicas y de la Salud	Morales-Ruiz et al., 2023.
Investigación	Zinc Oxide Phytonanoparticles' Effects on Yield and Mineral Contents in Fruits of Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i> L. cv. Cherry) under Field Conditions.	The Scientific World Journal	Nanotecnología Agrícola	Gutiérrez-Miceli et al., 2021.
Investigación	El papel de los compuestos polifenólicos en la síntesis verde de nanopartículas metálicas.	Biotecnología	biotecnología y bioingeniería.	Santos-Espinoza et al., 2020.

Universidades públicas del Estado como la UNACH, TecNM-Tuxtla, y UNICACH, cada vez más empiezan a trabajar con temas relacionados a la nanotecnología con diferentes aplicaciones. Sin embargo, las universidades pioneras en abrir un programa de Ingeniería en Nanotecnología, en el Estado de Chiapas, fueron la Universidad Politécnica de Tapachula (UPTapachula) en agosto del 2021 y posteriormente la Universidad Politécnica de Chiapas (UPChiapas) en enero de 2022. El programa educativo de Ingeniería en Nanotecnología surgió con el objetivo de formar profesionales capaces de aplicar principios físicos, químicos y biológicos al diseño de materiales y dispositivos a escala nanométrica. Dichos programas, junto con los laboratorios de caracterización y síntesis de nanomateriales de la UNICACH, han sentado las bases para el desarrollo de

líneas de investigación en materiales semiconductores, nanocompuestos poliméricos y nanopartículas metálicas (Herrera-Rivera et al., 2021).

Es de destacar que, en la UPChiapas, en 2023, se creó el grupo de investigación denominado “Nanociencias y Nanotecnología del Sureste”. Los integrantes del grupo pertenecen, en su mayoría, al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) y al Sistema Estatal de Investigadores (SEI). Los integrantes realizan actividades de investigación científica, desarrollo tecnológico y en materia de divulgación,

con temas relacionados a la nanotecnología y sus aplicaciones en el área agrícola, ambiental, producción de energía, semiconductores y simulación de materiales avanzados.

En este sentido, en la Tabla 2 se muestran las publicaciones realizadas en 2025 por sus integrantes, involucrando, en algunos casos, a alumnos de la Ingeniería en Nanotecnología de la UPChiapas.

Tabla 2. Publicaciones 2025 del grupo de Investigación Nanociencias y Nanotecnología del sureste, cuyos autores tienen adscripción en la Universidad Politécnica de Chiapas.				
Tipo de publicación	Nombre del artículo	Nombre de la revista	Área de aplicación	Referencias
Revisión	Carbon nanomaterials as an environmental technology in the remediation of agricultural soils contaminated with heavy metals: a review.	Discover Soil	Nanotecnología Ambiental	Sol-Magdaleno et al., 2025
Investigación	Evaluation of Aqueous and Ethanollic Extracts for the Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles from <i>Tradescantia spathacea</i> .	Nanomaterials	Síntesis verde de nanopartículas	Trejo-Flores et al., 2025
Investigación	Efecto bioestimulante de nanopartículas de titanatos de hidrógeno con quitosano en el frijolvariedad frailescano.	Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas	Nanotecnología Agrícola	Roblero-Torres et al., 2025
Investigación	Efecto de nanopartículas de óxido de zinc sobre el comportamiento morfológico y productivo del rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.) bajo diferentes sustratos orgánicos.	Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas	Nanotecnología Agrícola	González Moscoso et al., 2025
Capítulo de libro	Scope of Nanomaterials in Phytoremediation Actions of Agricultural Crops.	Springer	Nanotecnología agrícola y ambiental	González-Moscoso et al., 2025
Divulgación	La Nanotecnología en la Agricultura: Innovación para la Producción Sostenible de Alimentos.	Azcatl	Nanotecnología Agrícola	Navarro-López et al., 2025
Investigación	Confocal evaluation of carbon quantum dots obtained by microwave synthesis from coffee and garlic residues.	<i>Microscop and Microanalysis</i>	Síntesis de puntos cuánticos	Hernández-Varela et al., 2025

Divulgación	¿Puede una lámina de carbono salvar recuerdos?	Redicye	Nanomedicina	Camas-Flores et al., 2025
Investigación	Sustainable combustion synthesis of BiVO ₄ using orangepeel for photocatalytic applications.	Journal of Materials Science: Materials in Electronics	Energía	Reyes-Vallejo et al., 2025

Otras instituciones como la UNICACH, mediante el Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables (IIER), y el TecNM-Tuxtla, con su Maestría en Bioquímica y Doctorado en Biotecnología y Alimentos, han consolidado proyectos de investigación en energías renovables, liberación controlada de bioactivos y nanomateriales para la industria.

Al comparar los datos en los repositorios institucionales y en editoriales de revistas especializadas, se observa que al 2025, las instituciones con más trabajos publicados, relacionados con la nanotecnología, son la UNICACH, mediante el IIER, el TecNM-Tuxtla, con su Maestría en Bioquímica y Doctorado en Biotecnología y Alimentos y la UPChiapas con la Ingeniería en nanotecnología. Esto ha permitido consolidar proyectos de investigación en energías renovables, liberación controlada de bioactivos y nanomateriales aplicados en el área agrícola.

Panorama actual del desarrollo nanotecnológico en Chiapas.

a) Agroindustria y biotecnología.

La aplicación de la nanotecnología en la agroindustria chiapaneca ha mostrado avances significativos. Investigaciones en

la UPChiapas han desarrollado nanofertilizantes y nanopesticidas que mejoran la eficiencia de los insumos agrícolas y reducen el impacto ambiental (González-Moscoso et al., 2025; Roblero-Torres et al, 2025). Además, estudiantes de la UNICACH han participado en proyectos como "Nanok'an", que busca transformar la fertilización en cultivos como café, maíz, cilantro, pepino y frijol, utilizando nanotecnología para una liberación controlada de nutrientes (Unicach Press, 2025). En las tablas 1 y 2 se pueden apreciar los diferentes trabajos realizados en este rubro tanto del TecNM-Tuxtla y de la UPChiapas, en dichas Investigaciones se puede evidenciar que este es uno de los sectores prioritarios para el Estado.

b) Materiales, construcción y funciones industriales.

La nanotecnología aplicada a la construcción ha permitido el estudio y desarrollo de materiales más resistentes y sostenibles. Investigaciones en la UNACH han explorado el uso de nanomateriales en cementos y concretos, mejorando sus propiedades mecánicas y durabilidad (González et al., 2016). Asimismo, la UNICACH ha trabajado en la creación de materiales minerales carbonatados para

su aplicación en el aislamiento térmico de sistemas de construcción ligera de edificios locales (Aguilar- Joo et al., 2023). En conjunto, incursionar en este tipo de líneas de investigación representa una oportunidad significativa para impulsar la innovación tecnológica en el ámbito de la construcción, promoviendo el desarrollo de materiales con mayor eficiencia, durabilidad y respeto al medio ambiente. Además, fortalece la capacidad científica y técnica de las instituciones locales, fomentando la creación de soluciones adaptadas a las condiciones y necesidades regionales, lo que contribuye tanto al progreso industrial como al desarrollo sostenible de la sociedad.

c) Salud pública, diagnóstico y biosensores.

La nanotecnología ha emergido como una herramienta clave en la mejora de la salud pública en Chiapas. Investigaciones en el Colegio de la Frontera Sur desarrollaron biosensores basados en nanopartículas magnéticas para el diagnóstico rápido de tuberculosis (Gómez-Velasco et al., 2019). Estos dispositivos permiten una detección temprana y precisa, posibilitando la implementación de medidas preventivas y de control en comunidades rurales.

d) Energía, nanotecnología verde y materiales renovables.

El aprovechamiento de fuentes de energía renovable en Chiapas se ha visto potenciado por la nanotecnología. El IIIER de la UNICACH ha estudiado sistemas energéticos basados en nanomateriales, como celdas solares de alta eficiencia a

través de técnicas de deposición física de vapor y métodos híbridos (Valencia et al., 2021). Estos avances contribuyen a la transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible en la región. Así mismo, en la UPChiapas se están investigando y desarrollando nuevos materiales (Figura 1) mediante métodos verdes los cuales tienen el potencial de incrementar la producción de lípidos en cultivos de microalgas para ser aprovechados como materia prima en la elaboración de biodiesel (Trejo- Flores et al., 2025).

e) Educación, difusión, repositorios de acceso abierto y gobernanza.

La formación de profesionales especializados en nanotecnología en Chiapas se ha fortalecido con la oferta de programas educativos en instituciones públicas que abordan líneas de investigación aplicada a diversos sectores. Además, se han implementado iniciativas para la difusión del conocimiento científico, como conferencias y talleres, y la creación de capítulos estudiantiles especializados en el área de la nanotecnología y avalado por sociedades nacionales del área de materiales el cual fomenta el desarrollo de trabajos enfocados al desarrollo de nanomateriales y la organización de congresos especializados, como el Congreso Estatal de Materiales organizado por el capítulo estudiantil de la SMMater en conjunto con la UPCH y la UNICACH, donde se lleva a cabo talleres o ponencias enfocadas a la síntesis y caracterización de nanomateriales como se muestra en la Fig.2 o el congreso internacional en Biotecnología organizado por la UNACH; además se han creado repositorios de

acceso abierto para compartir resultados de investigación. La gobernanza en nanotecnología en la región se ha visto enriquecida por la colaboración entre instituciones académicas, gubernamentales y la sociedad civil.



Figura 2. Actividades realizadas en el marco del III Congreso Estatal de Materiales 2025, enfocados a la síntesis y caracterización de nanomateriales.

Abordar estos desafíos es crucial para consolidar el desarrollo nanotecnológico en la región.

g) Narrativa territorial: nanotecnología con identidad local

El desarrollo nanotecnológico en Chiapas no debe entenderse únicamente como una extensión de tendencias globales, sino como una respuesta situada a los desafíos y oportunidades del territorio. La biodiversidad, la riqueza agrícola, la vulnerabilidad ambiental y las brechas en salud y energía configuran un escenario donde la nanotecnología puede tener un impacto transformador. Esta narrativa territorial permite vincular la formación académica con problemáticas reales, como la mejora de cultivos tradicionales, la remediación de suelos contaminados o el diagnóstico oportuno en comunidades rurales. En este sentido, el desarrollo nanotecnológico se convierte en una herramienta para la justicia territorial, la sostenibilidad y la innovación con pertinencia social.

f) Síntesis de fortalezas y vacíos detectados

Las fortalezas del ecosistema nanotecnológico en Chiapas incluyen la existencia de programas académicos especializados, la colaboración interinstitucional y el enfoque en aplicaciones regionales. Sin embargo, se han identificado vacíos en áreas como la infraestructura de investigación avanzada, la transferencia tecnológica al sector productivo y la formación de capital humano en niveles de posgrado.

Áreas potenciales de desarrollo nanotecnológico.

Las áreas con mayor potencial en el contexto chiapaneco incluyen:

- I. Energía renovable: Investigación en nanocompuestos para celdas solares, fotocatalizadores y baterías de alta eficiencia.
- II. Agricultura inteligente: Uso de nanopartículas para mejorar la resistencia de cultivos y la eficiencia de fertilizantes y pesticidas.

III. Biomedicina y alimentos: Desarrollo de sistemas de liberación controlada de fármacos y bioactivos; aplicaciones antimicrobianas y conservación de alimentos.

IV. Medio ambiente: Remediación de agua y suelos contaminados mediante nanomateriales fotocatalíticos; monitoreo ambiental con nanosensores.

V. Industria y construcción: Aplicación de nanomateriales para mejorar propiedades de materiales de construcción, resistencia y durabilidad.

Estas áreas reflejan el potencial de transferencia tecnológica para generar innovación local y mejorar la competitividad regional.



Figura 3. Áreas potenciales de desarrollo de la nanotecnología en Chiapas.

Desafíos y estrategias para la consolidación del ecosistema nanotecnológico chiapaneco

A pesar de los avances, el desarrollo nanotecnológico en Chiapas enfrenta desafíos como:

- i. Infraestructura laboratorios equipados
caracterización de nanomateriales.
- ii. Capacitación especializada: Necesidad de formar investigadores con habilidades multidisciplinarias en nanotecnología.
- iii. Vinculación industrial: Brecha entre investigación académica y adopción por empresas locales.

Estrategias propuestas:

- Centro Regional de Nanotecnología Aplicada (CERNA-Chiapas): Integración de UPChiapas, UNICACH y TecNM para investigación conjunta.
- Fortalecimiento de posgrados: Doctorado interinstitucional en nanotecnología del sureste mexicano.
- Transferencia tecnológica y emprendimiento: Incubadoras de empresas basadas en nanotecnología aplicada a problemas locales.
- Educación y divulgación: Programas para promover vocaciones científicas desde nivel medio superior.

Vinculación con políticas públicas: alineación estratégica.

El fortalecimiento del ecosistema nanotecnológico en Chiapas requiere una articulación clara con las políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación, tanto a nivel estatal como nacional. Aquí, tendría cabida una propuesta estratégica: la creación de un Centro Regional de Nanotecnología Aplicada, mismo que podría alinearse directamente con los ejes del Plan Estatal de Desarrollo 2025–2030, que promueve un enfoque humanista, territorial e incluyente, orientado al

bienestar, la sostenibilidad y el respeto a los saberes comunitarios. Este plan contempla sectores estratégicos como educación, salud, medio ambiente, desarrollo económico e infraestructura, todos ellos vinculables a las aplicaciones nanotecnológicas descritas en este documento. A nivel nacional, el Plan Nacional de Desarrollo 2025–2030 impulsa la consolidación de proyectos estratégicos en el sur-sureste, como el Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec, donde la nanotecnología puede insertarse como línea transversal en agroindustria, energías limpias y manufactura avanzada. Esta vinculación estratégica permitiría canalizar recursos, generar sinergias interinstitucionales, incubar empresas de base tecnológica y formar redes regionales de innovación con identidad territorial.

Dimensión intercultural: diálogo entre saberes.

En un estado como Chiapas, con una fuerte presencia de pueblos originarios y saberes comunitarios, el desarrollo nanotecnológico debe incorporar una dimensión intercultural. Esto implica no solo traducir contenidos científicos a lenguas indígenas, sino también reconocer y dialogar con prácticas locales de cuidado ambiental, agricultura y salud. Por ejemplo, la aplicación de nanopartículas en cultivos tradicionales podría enriquecerse con conocimientos ancestrales sobre ciclos agrícolas, biodiversidad, uso de plantas medicinales y recuperación de los maíces nativos. La interculturalidad en nanotecnología no es una concesión, sino una oportunidad para construir ciencia más ética, inclusiva y

contextualizada, que respete la diversidad epistémica del territorio.

CONCLUSIÓN

El desarrollo nanotecnológico en Chiapas constituye una plataforma estratégica para catalizar procesos de innovación orientados al crecimiento sustentable, especialmente en sectores clave como la agricultura, la salud ambiental y la gestión de recursos naturales. En este contexto, la nanotecnología no solo representa una frontera científica de alto impacto, sino también una herramienta transversal para la transformación territorial, capaz de articular saberes locales con dinámicas globales de conocimiento.

Para que este potencial se traduzca en beneficios tangibles, es indispensable superar los desafíos estructurales que limitan su despliegue. Esto implica consolidar estrategias integrales de formación especializada, fortalecer la infraestructura científica y tecnológica, y fomentar esquemas de colaboración interinstitucional que vinculen a universidades, centros de investigación, gobiernos locales y actores productivos. La creación de redes académicas y plataformas de transferencia tecnológica será clave para dinamizar ecosistemas de innovación inclusivos y contextualizados.

Asimismo, el enfoque territorial del desarrollo nanotecnológico debe considerar las particularidades socioculturales y ambientales de Chiapas, promoviendo una ciencia comprometida con la equidad, la sostenibilidad y el bienestar comunitario. En este sentido, la nanotecnología puede convertirse en un eje articulador de políticas públicas, proyectos de investigación aplicada y

procesos educativos que fortalezcan las capacidades locales y posicionen a la región como referente en innovación responsable.

En este sentido, avanzar hacia un modelo de desarrollo nanotecnológico con base científica, educativa y colaborativa permitirá no solo ampliar las fronteras del conocimiento, sino también incidir en la transformación estructural del territorio chiapaneco, contribuyendo al progreso científico, tecnológico y socioeconómico de manera ética, contextualizada y sustentable.

REFERENCIAS

- Aguirre, A. (2017). Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, Vol. 9 No. 17 julio-diciembre 2016. Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, 9(17), 1-180. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2016.17.58179>
- Aguilar-Joo, J. E., Farrera-Vázquez, N., López-Cameras, S., Ruiz-Torres, R. P., & Meza-Avendaño, C. A. (2023). Influence on the incorporation of carbonate minerals as stabilizers in clay and sawdust-based blocks for thermal insulation. Buildings, 13(3), 656. <https://doi.org/10.3390/buildings13030656>
- Anta Félez, J. L. (2023). Nanotecnología, éticas y (no) futuro. Contexto humano, 2(1), 45. <https://doi.org/10.36677/contextohumano.v2i1.22206>
- Camas Flores, C. A., Peña Ángeles, M. J., & Canseco Pérez, M. Al. (2025). ¿Puede una lámina de carbono salvar recuerdos?. Revista-Divulgación De Ciencia Y Educación, 3(1), 40-42. Recuperado a partir de <https://upeg.edu.mx/edicie/jsredicie/index.php/redicie/article/view/67>
- Velázquez-Gamboa, M. C., Rodríguez-Hernández, L., Abud-Archila, M., Gutiérrez- Miceli, F. A., Ruiz-Valdiviezo, V. M., Valdez-Salas, B., Ferrer-Sánchez, D. M., & Luján-Hidalgo, M. C. (2023). Effect of zinc and phytonanoparticles on the production of rebaudiosides and phenolic compounds in Stevia rebaudiana Bertoni plants. Biotecnia, 26, Article No. 2313. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2313>
- Estudillo-Díaz, Enna B., Gutiérrez-Miceli, Federico A., González-Mendoza, Daniel, Valdez-Salas, Benjamín, & Abud-Archila, Miguel. (2023). Desarrollo y caracterización de películas activas con nanopartículas de plata obtenidas mediante síntesis verde. Biotecnia, 25(1), 109-115. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1683>
- Gómez-Velasco, A., León-Cortés, J. L., Gordillo-Marroquín, C., Sánchez-Pérez, H. J., Alcocilja, E. C., Muñoz-Jiménez, S. G., Bencomo-Alerm, A., Enríquez-Ríos, N., Jonapá-Gómez, L., & Gómez-Bustamante, A. (2019). Uso de nanopartículas magnéticas y un biosensor para el diagnóstico y monitoreo de enfermedades infecciosas emergentes, re-emergentes y tropicales desatendidas. Enfermedades emergentes, 18(1), 22-31.
- González, R., Aguilar, J., Nárcia, C., De Coss, E., & Cruz, R. (2016). Estado del Arte de Técnicas de Reparación de Puentes. Pakal, 15(37), 15-20.
- González-Moscoso, Magín, Juan Diego Camacho-Ovando, Gregorio Cadenas-Pliego, y Juan Carlos Caballero-Salinas. 2025. Efecto De nanopartículas De óxido De Zinc Sobre El Desarrollo Del rábano En Sustratos orgánicos. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas 16 (30), e4038. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i30.4038>.
- González-Moscoso, M., González-García, Y., Pérez-Hernández, H., Juárez- Maldonado, A. (2025). Scope of Nanomaterials in Phytoremediation Actions of Agricultural Crops. In: Jabborova, D., Sarkar, D., S., R., Datta, R., Singh, S. (eds) Nanomaterials in Agroforestry Systems. Smart Nanomaterials Technology. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-1337-3_15
- Gutiérrez-Miceli, F. A., Oliva-Llaven, M. Á., Luján-Hidalgo, M. C., Velázquez-Gamboa, M. C., González-Mendoza, D., & Sánchez-Roque, Y.

- (2021). Zinc oxide phytonanoparticles' effects on yield and mineral contents in fruits of tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Cherry) under field conditions. *The Scientific World Journal*, 2021 (1), 5561930.
- Herrera-Rivera, R., Morales-Bautista, J., Pineda-Reyes, A. M., Rojas-Chávez, H., Maldonado, A., Vilchis, H., Montejó-Alvaro, F., Salinas-Juárez, M. G., & Olvera, M. de la L. (2021). Influence of Cu and Ni dopants on the sensing properties of ZnO gas sensor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(7), 2121-2123. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-04725-5>
- Hernández-Varela, J., Cabrera-Pozo, T.A., Morales-Sánchez, J.A., González Moscoso, M., Ponce-Recinos, E., González-Victoriano, L., Valeriano-García, N., Gallegos-Cerda, S., Arredondo-Tamayo, B., Chanona-Pérez, J. (2025). Confocal Evaluation of Carbon Quantum Dots Obtained by Microwave Synthesis from Coffee and Garlic Residues, *Microscopy and Microanalysis*, 31 (1), ozaf048.1043, <https://doi.org/10.1093/mam/ozaf048.1043>
- León-Jiménez, E., Cua-Basulto, M., Garruña-Hernández, R., Gutiérrez-Micelli, F., González-Mendoza, D., Ballina-Gómez, H., Herrera-Gorocica, Á., & Ruiz-Sánchez, E. (2025). Bimetallic phytonanoparticles of *Crotalaria longirostrata* and their acaricidal activity on *Tetranychus urticae*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28,029. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5412>
- Morales-Ruiz, M. C., Abud-Archila, M., Ventura-Canseco, L. M. C., Gutiérrez-Miceli, F. A., Valdez-Salas, B., & Luján-Hidalgo, M. C. (2024). Biological properties of zno phytonanoparticles obtained from *annona muricata* l. fruit pulp for possible co-administration with probiotics strains. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 14(3), e9963. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.9963>
- Méndez-Díaz, Diana Patricia, Gutiérrez-Miceli, Federico Antonio, Ventura-Canseco, Lucía María Cristina, Abud-Archila, Miguel, Valdez-Salas, Benjamín, Morales-Ruiz, María Candelaria, & Luján-Hidalgo, María Celina. (2023). Caracterización estructural y funcional de nanopartículas de ZnO-EPS sintetizadas a partir de exopolisacáridos producidos por *Lactiplantibacillus fabifermentans* BAL-27-ITTG. *Biotechnia*, 25(3),55.<https://doi.org/10.18633/biotechnia.v25i3.1950>
- Navarro-López, N.E., Torres, A., Pérez, A., Morales, N., González-Moscoso, M. (2025). La nanotecnología en la agricultura: Innovación para la producción sostenible de alimentos. *AZCATL Revista de Divulgación en Ciencias, Ingeniería e Innovación*, 3 (3), 23-27. <https://doi.org/10.24275/AZC2024B005B>
- Reyes-Vallejo, O., Cano, F.J., Sánchez-Albores, R. et al. (2025). Sustainable combustion synthesis of BiVO₄ using orange peel for photocatalytic applications. *J Mater Sci: Mater Electron* 36, 1251. <https://doi.org/10.1007/s10854-025-15291-z>
- Roblero-Torres, Edwin Giuliani, Verónica Castro Velázquez, Vicente Rodríguez-González, y Magín González-Moscoso. (2025). «Efecto Bioestimulante De nanopartículas De Titanatos De hidrógeno Con Quitosano En El Frijol Variedad Frailesano». *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 16 (30), e4049. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i30.4049>.
- Santos-Espinoza, A., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V., and Montes-Molina, J. "El papel de los compuestos polifenólicos en la síntesis verde de nanopartículas metálicas," *BioTecnología*, vol. 24, no. 2, p. 46, 2020.
- Sol-Magdaleno, M., Aguilar-Aguilar, J.I., Beltrán-Naturi, E. et al. (2025). Carbon nanomaterials as an environmental technology in the remediation of agricultural soils contaminated with heavy metals: a review. *Discov. Soil* 2, 26.

- <https://doi.org/10.1007/s44378-025-00054-3>
- Solorzano Toala, R., Gutierrez-Miceli, F., Valdez-Salas, B., Beltran-Partida, E., Gonzalez-Mendoza, D., Tzintzun-Camacho, O., & Basilio-Cortes, A. (2024). Biosynthesis of copper nanoparticles from *Acacia cornigera* and *Annona purpurea* and their insecticidal effect against *Tribolium castaneum*. *Reactions*, 5(2), 274-284. <https://doi.org/10.3390/reactions5020013>
- Trujillo-Cancino, J. L., & Limaymanta, C. H. (2023). Estudio bibliométrico sobre nanociencia y nanotecnología en México basado en la Web of Science. *Revista General de Información y Documentación*, 33(1), 175-201. <https://doi.org/10.5209/rgid.83866>
- Trejo-Flores, P. G., Sánchez-Roque, Y., Vilchis-Bravo, H., Pérez-Luna, Y. d. C., Velázquez-Jiménez, P. E., Ramírez-González, F., Soto Martínez, K. M., López de Paz, P., Saldaña-Trinidad, S., & Berrones-Hernández, R. (2025). Evaluation of Aqueous and Ethanolic Extracts for the Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles from *Tradescantia spathacea*. *Nanomaterials*, 15(14), 1126. <https://doi.org/10.3390/nano15141126>
- Unicach Press. (2025, enero 31). Estudiantes de UNICACH presentan innovador proyecto en Primer Premio Emprendedor. Unicach Press. <https://agencia.unicach.mx//note.php?v=MTYwMg==>
- Reyes-Zambrano, S. J., Lecona-Guzmán, C. A., Luján-Hidalgo, M. C., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2024). Stimulation of morphometric parameters and zinc content of native maize by priming with zinc oxide phytonanoparticles / Estimulación de parámetros morfométricos y contenido de zinc en maíz nativo cebado con fitonanopartículas de óxido de zinc. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 23(1), Bio24160. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio24160>
- Valencia, D., Conde, J., Ashok, A., Meza-Avendaño, C. A., Vilchis, H., & Velumani, S. (2021). Optimization of Cu (In, Ga) Se₂ (CIGSe) thin film solar cells parameters through numerical simulation and experimental study. *Solar Energy*, 224, 298-308. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.075>