

Comité de Ciencia, Tecnología, Academia e
Innovación de la Unidad Profesional
Interdisciplinaria de Ingeniería, Campus
Palenque del Instituto Politécnico Nacional
(CITAI UPIIP - IPN)



PROPUESTA

No. 001

Plan de Trabajo del Comité CITAI UPIIP – IPN

TÍTULO DEL PROYECTO ESTRATÉGICO

**“ESTUDIO DE NANOPARTICULAS DE CARBONO POR METODOS
CONVENCIONALES Y QUIMICA VERDE PARA APLICACIONES EN LA
INDUSTRIA FERROVIARIA NACIONAL”**

Estudio de Nanopartículas de Carbono por Métodos Convencionales y Química Verde para aplicaciones en la Industria Ferroviaria Nacional

Descripción de la propuesta: El sector automotriz (de transporte) a nivel global está en proceso de transición, ofreciendo cada día más opciones de transporte eléctrico, lo cual obedece principalmente a que se vislumbra el agotamiento de los combustibles fósiles y la necesidad de mitigar los efectos del cambio climático. Por otro lado, la transición a la electromovilidad también abona al cumplimiento de los objetivos de la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible de la Organización de la Naciones Unidas.

La industria ferroviaria vive una nueva etapa debida a las políticas públicas para su desarrollo y utilización como medio de transporte de carga y pasajeros, en este sentido es necesario establecer proyectos que permitan ejercer la soberanía científica, tecnológica y humanística que durante décadas se dejó de lado por la política neoliberal, la cual tuvo como resultado la dependencia y el atraso tecnológico en todos los sectores de relevancia estratégica para el desarrollo nacional.

Por otra parte, actualmente la nanociencia y la nanotecnología han tomado vital relevancia en todos los sectores industriales a nivel mundial, es por ello que se vuelve crucial desarrollar y aplicar estos conocimientos en los materiales empleados en la industria, en especial la ferroviaria como podrían ser el estudio de materiales para el almacenamiento de energía eléctrica eficiente o nuevos materiales para mejorar las propiedades mecánicas de los trenes y reducir el peso, entre otras.

En esta propuesta se analizarán los métodos para síntesis de nanomateriales de carbono por métodos convencionales, así como por química verde y se plantearán aplicaciones enfocados a la industria ferroviaria nacional, con la finalidad de poder aplicarlos en el diseño y construcción de sistemas ferroviarios.

Resumen descriptivo del proyecto: En este proyecto se analizarán distintas metodologías para la síntesis principalmente de nanopartículas de carbono por métodos de química verde para reducir el impacto ambiental, generado por el uso de sustancias tóxicas y optimizar la producción industrial de estas. Las nanopartículas sintetizadas serán caracterizadas por distintas técnicas espectrométricas como son UVVIS, Raman, FTIR, DLS y SEM. Estudiando sus propiedades físico-químicas de nanopartículas alotrópicas de carbono, se planteará su uso futuro en aplicaciones ferroviarias contemplando el desarrollo de esta

industria a nivel interno y reduciendo la dependencia con los ferrocarriles e infraestructura extranjera.

Principalmente se tiene contemplado el posible uso de estas partículas como recubrimiento de los elementos mecánicos de los trenes para optimizar sus propiedades mecánicas y así reducir el desgaste causado por la fricción de los mismos que podrían provocar accidentes o un gasto mayor en la cuestión de mantenimientos y con ello un alto consumo en material.

Por ejemplo, el empleo de grafeno y óxido de grafeno en su utilización en baterías para el desarrollo de sistemas de almacenamiento energético eficiente. Las aplicaciones finales dependerán de las propiedades particulares de cada alótropo de carbono que se sintetice por métodos verdes y convencionales, además de la proyección del desarrollo de la industria nacional relacionado a la tecnología ferroviaria.

Alcance o impacto esperado: El impacto esperado del proyecto es a largo plazo (6 años), esto debido a las características del sector ferroviario actual, si bien el tren maya ya se encuentra en operación, los trenes adquiridos cuentan con tiempos de garantía y contratos con los proveedores para tratar lo referente a los mantenimientos preventivos y correctivos de las unidades y los sistemas que integran los trenes. Sin embargo, es importante contemplar que la asimilación (reingeniería) de estos trenes por técnicos e ingenieros nacionales ya sean de la SEDENA o del IPN, será inevitable si se busca tener una soberanía tecnológica y científica.

Lo anterior implicaría en la necesidad de contar con personal y estrategias para diseñar y fabricar piezas, elementos mecánicos específicos e incluso en algún momento trenes fabricados por mexicanos, es por ello que el empleo de materiales con propiedades mejoradas en comparación con los materiales convencionales será necesario en un futuro, esta clase de materiales se emplean en distintas industrias desde la industria textil hasta la industria aeroespacial. El proyecto se enfoca en tres etapas la primera a la evaluación de los métodos convencionales y por química verde, la segunda a la síntesis y caracterización de estos alótropos de carbono y la tercera etapa a la aplicación de estas nanopartículas a los elementos mecánicos de los trenes para mejorar las propiedades mecánicas y reducción de peso de los vagones, con esto se contempla impactar de manera positiva en el ahorro energético y optimización del transporte de carga y pasajeros.

Antecedentes de la propuesta: Las aplicaciones de nanomateriales son ampliamente conocidas, las podemos encontrar en la industria textil como son en prendas de vestir auto lavables, en la industria aeroespacial con materiales que

soportan altas temperaturas, mejoran las propiedades mecánicas y reducen el peso en el fuselaje, etc. Las ventajas en las propiedades mecánicas, eléctricas y ópticas de los nanomateriales en relación a los materiales en bulto permiten mejorar los sistemas, las principales desventajas que encontramos en los nanomateriales son los costos de producción y el impacto al medio ambiente, es por ello que metodologías de química verde se están explorando a nivel mundial para reducir el impacto de la síntesis de estas partículas al medio ambiente y optimizar los procesos de producción.

Los procesos de reingeniería son parte del ciclo de vida de toda tecnología, de igual manera los trenes adquiridos para los distintos desarrollos ferroviarios pasaran a manos de dependencias de gobierno los cuales a su vez realizaran convenios con distintos proveedores nacionales y extranjeros para los servicios de mantenimientos preventivos y correctivos de la infraestructura ferroviaria instalada en las nuevas obras de intercomunicación o brindaran concesiones para la explotación y manejo de los mismos. Sin importar cual sea el caso que se dé, el uso y el tiempo impactaran en la vida útil de los sistemas ferroviarios y será necesario contar con la capacidad técnica, científica y operativa para poder reparar, mejorar y a largo plazo sustituir los trenes y material rodante necesario y esto solo se lograra contando con una base sólida de desarrollos tecnológicos que permitan afrontar los retos actuales y futuros.

Es por ello que el proyecto busca brindar soluciones que puedan ser empleadas en el sistema ferroviario nacional para la modificación y mejora de los trenes instalados en las distintas vías férreas del país.

Propósito (Objetivo general y objetivos específicos):

Objetivo general: Sintetizar nanopartículas de carbono por métodos convencionales y por química verde con aplicaciones en la industria ferroviaria nacional.

Objetivos específicos:

- Evaluar y analizar los distintos métodos de síntesis de nanopartículas de carbono por métodos convencionales y por química verde.
- Sintetizar y caracterizar nanopartículas de carbono por distintas metodologías convencionales y por química verde.
- Analizar y proponer la aplicación de nanopartículas de carbono en el tren maya.

Estado del arte del proyecto: En la actualidad existen numerosas propuestas de aplicaciones de nuevos materiales sintetizados a escala nanométrica que buscan reducir efectos adversos o brindar características favorables en el sector de

automoción del cual los elementos ferroviarios forman parte. Por otra parte, muchas de estas potenciales aplicaciones se encuentran en etapas de estudio, en pruebas piloto, pruebas de campo o implementadas de manera parcial. Dentro de estas aplicaciones tenemos el caso de lubricantes para reducir el desgaste de los elementos mecánicos de contacto, recubrimientos electro-ópticos para ventanas, los cuales buscan brindar una respuesta pasiva o activa para el control de temperatura interna de los vagones o protección antihielo para las regiones con bajas temperaturas, compuestos ligeros ignífugos para reducir el peso de los vagones y brindar características de protección contra incendios, entre otras.

Una desventaja de los materiales nanoestructurados es la adaptación de los procesos de síntesis en los laboratorios a los procesos industriales, lo cual limita su aplicación de manera masiva, además de ello, los procesos de síntesis convencionales generan un alto impacto al medio ambiente principalmente por las características de los reactivos que se emplean. Por lo contrario, nuestro proyecto se busca emplear mayoritariamente los procesos de síntesis verde para optimizar los procesos a nivel industrial y reducir el impacto al medio ambiente.

Cabe mencionar, que las patentes registradas o en proceso de registro ante el IMPI particularmente para los términos de “materiales” y “nanoestructurados” son de 20 registros y solicitudes de patente, en cuanto a la búsqueda para “materiales”, “Ferroviario” la búsqueda arroja cero resultados, mientras que para una búsqueda con el término “nanomateriales” tenemos 89 resultados y para “nano” y “materiales” un total de 83 resultados, esto significa que es una gran área de oportunidad en este campo de estudio.

Por otra parte, países europeos se encuentran desarrollando e implementando distintos materiales nanoestructurados para aplicaciones en el sector ferroviario, lo anterior muestra la importancia que se debe tener al desarrollo de nanomateriales con un enfoque sustentable y concebidos para ser aplicados a una industria nacional que tendrá una demanda mayor tanto para el transporte de pasajeros, así como para el transporte de mercancías.

En cuanto al ámbito nacional muchas instituciones de educación pública del país como la UNAM o el IPN, tienen desarrollos de distintas nanopartículas con un abanico de aplicaciones, sin embargo, estos desarrollos no pasan en la mayoría de los casos al ámbito de aplicación para poder impactar de manera positiva en el desarrollo económico, social y humanístico del país. Es por ello que, en el presente proyecto se sintetizaran nanopartículas con un enfoque a su empleo y utilización para el futuro desarrollo de la industria ferroviaria nacional.

Tiempo estimado de ejecución: A continuación, se establece el cronograma de actividades y los productos esperados para cada actividad

Tiempo de ejecución (meses)	Meta	Descripción	Resultado estimado **
0-24	Evaluación y análisis de métodos de síntesis para nanopartículas de carbono por métodos convencionales.	Se evaluará las necesidades específicas para cada método de síntesis, las modificaciones necesarias al equipo e instrumental con el cual se cuenta en el laboratorio de pesados de UPII campus palenque.	Obtener distintos alótropos de carbono y caracterizar estos materiales para su aplicación en la industria ferrocarrilera nacional. Presentación de resultados en un congreso nacional o internacional.
25-48	Evaluación y análisis de métodos de síntesis para nanopartículas de carbono por métodos de química verde.	Se evaluará las necesidades específicas para cada método de síntesis, las modificaciones necesarias al equipo e instrumental con el cual se cuenta en el laboratorio de pesados de UPII campus palenque.	Obtener distintos alótropos de carbono y caracterizar estos materiales para su aplicación en la industria ferrocarrilera nacional. Presentación de resultados en un congreso nacional o internacional.

49-72	Valoración para la aplicación de estos nanomateriales en pruebas piloto o en sistemas prototipo, así como los permisos para su evaluación en campo y en vías del tren maya.	Se realizarán muestras de materiales, prototipos y elementos necesarios para validar la susceptibilidad de aplicación en el diseño de trenes, empleando la infraestructura con la que se cuenta para validar su funcionamiento en el tren maya.	Generación de al menos una patente ante el IMPI para los materiales sinterizados con un enfoque de aplicación en su uso en el sistema ferroviario nacional, principalmente materiales que puedan ser empleados para el diseño y construcción de trenes.
--------------	---	---	---

Fortalezas internas para el desarrollo del proyecto: El proyecto está dirigido por el Dr. Isaac Izcoatl Mota Díaz, inicialmente conforme se desarrolle se estará integrando a jóvenes de servicio social, tesis y a un largo plazo a estudiantes de posgrado, en cuanto a la infraestructura se está contemplando la que estará instalada en los laboratorios pesados de la UPII campus palenque y para la caracterización de los nanomateriales, el IPN cuenta con el centro de nanociencias micro y nanotecnologías, en el cual se realizarán distintos ensayos para caracterizar estos materiales y con ello definir la propuesta de aplicación de los mismos en el sector ferroviario.

Impacto presupuestario del proyecto: El proyecto se contempla en una etapa inicial solo con el presupuesto institucional derivado de los proyectos SIP, a lo largo del desarrollo el tipo de financiamiento podrá ir modificándose en función de las posibilidades que se brinden para la aplicación a materiales ferroviarios del tren maya o con los convenios que se puedan realizar con distintas dependencias estatales y federales.

Al ser un proyecto inicial no podemos estimar los ingresos que esto podría generar, además que está pensado para una aplicación con impacto en la mejora de los procesos de reingeniería que se derivaran en la asimilación de la tecnología empleada en el tren maya y las distintas obras de reestructuración férrea en toda la república.

En la siguiente tabla se hace una estimación de los costos necesarios para la adquisición de material desechable de laboratorio y reactivos.

Material	Etapa de ejecución	Etapa de ejecución	Etapa de estimado III	Costo ejecución III
Reactivos	20,000	50,000	60,000	130,000
Instrumental de laboratorio	35,000	35,000	40,000	110,000
Consumibles (guantes, puntas de pipeta, entre otros)	10,000	20,000	20,000	50,000
Total por etapa	65,000	105,000	120,000	
Total de proyecto				290,000

Beneficios sociales del proyecto: Los beneficios que este proyecto brindará son amplios, por ejemplo las aplicaciones que se generen como recubrimientos, materiales compuestos, etc, se pueden aplicar a la industria automotriz o incluso en telecomunicaciones, las mejoras en los elementos mecánicos pueden ser aplicados a los distintos sistemas ferroviarios del país, con lo anterior se mejorarán las condiciones y los costos en los mantenimientos preventivos y correctivos del sistema ferroviario nacional y se estima que muchas de las aplicaciones que se generen de este proyecto impactarán en otros sectores como es el caso del sector salud, inmobiliario, medio ambiente, entre otros.

Impacto regulatorio: Inicialmente el proyecto no requiere de ninguna modificación a los ordenamientos vigentes, sin embargo, para la aplicación futura de estos nanomateriales a los trenes o infraestructura férrea se analizarán las implicaciones en la normativa aplicable (NOM-001-ARTF-2023, NOM-055- SCT2-2016), así como el cumplimiento de las normativas para el manejo y desecho de materiales peligrosos generados para la síntesis de las nanopartículas (NMX-R-12901-1-SCFI-2015).

Definir acciones para la ejecución inmediata del proyecto: Se requiere un convenio de colaboración con los responsables del tren maya, para poder realizar modificaciones en los trenes y vías para aplicar los materiales sintetizados, así de igual manera con las dependencias gubernamentales que sean responsables de la adquisición de los trenes, vagones, material rodante y otro tipo de equipamiento para la operación de las rutas férreas en desarrollo.

Sin embargo, debido a que los trenes son adquiridos a empresas extranjeras y el periodo de garantía varía, se brinda el tiempo necesario para fortalecer este

proyecto y se propondrá hacer un convenio de colaboración con los responsables de tren maya para poder realizar pruebas y ajustes enfocados a la mejora y mantenimiento de la operatividad de los trenes. De esta manera podría servir como una opción en el mantenimiento para la mejora de los trenes.

Referencias:

Soltys, L., Olkhovyy, O., Tatarchuk, T., & Naushad, M. (2021). Green synthesis of metal and metal oxide nanoparticles: Principles of green chemistry and raw materials. *Magnetochemistry*, 7(11), 145. Ratan, Z. A., Haidere, M. F., Nurunnabi, M. D., Shahriar, S. M., Ahammad, A. S., Shim, Y. Y., ... & Cho, J. Y. (2020). Green chemistry synthesis of silver nanoparticles and their potential anticancer effects. *Cancers*, 12(4), 855. Iravani, S. (2011). Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green chemistry*, 13(10), 2638-2650.

Dutta, D., & Das, B. M. (2021). Scope of green nanotechnology towards amalgamation of green chemistry for cleaner environment: A review on synthesis and applications of green nanoparticles. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15, 100418. El-Seedi, H. R., El-Shabasy, R. M., Khalifa, S. A., Saeed, A., Shah, A., Shah, R., ... & Guo, W. (2019).

Metal nanoparticles fabricated by green chemistry using natural extracts: Biosynthesis, mechanisms, and applications. *RSC advances*, 9(42), 24539-24559.

Duan, H., Wang, D., & Li, Y. (2015). Green chemistry for nanoparticle synthesis. *Chemical Society Reviews*, 44(16), 5778-5792.

Ijaz, I., Gilani, E., Nazir, A., & Bukhari, A. (2020). Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 13(3), 223-245.

Libre, V. (s/f). *Materiales avanzados para el Sector Ferroviario*. Vialibre-ffe.com. Recuperado el 17 de junio de 2024, de <https://www.vialibre-ffe.com/noticias.asp?not=29322>

NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ARTF-2023, Sistema Ferroviario-Infraestructura-Durmientes Monolíticos-Especificaciones y Métodos de Prueba. NORMA Oficial Mexicana NOM-055-SCT2-2016, Para vía continua, unión de rieles mediante

soldadura. NORMA Oficial Mexicana NMX-R-12901-1-SCFI-2015, Nanotecnologías-Gestión de riesgo ocupacional aplicado a nanomateriales manufacturados. Parte 1: Principios y enfoques.