



Ciencia y Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación



INFORME ANUAL DE AUTOEVALUACIÓN CORRESPONDIENTE AL EJERCICIO FISCAL 2024 Con base en los Objetivos Prioritarios, del Programa Institucional, del CIMAV

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S.C.

MARZO, 2025



2025
Año de
La Mujer
Indígena



TABLA DE CONTENIDO

1. Información General

- a. Introducción
- b. Antecedentes
- c. Objetivos del Programa Institucional del CIMAV
- d. Capital Humano

2. Recomendaciones del Comité Externo de Evaluación

3. Contenido del Programa Institucional

4. Registro de metas y parámetros (indicadores), del Programa Institucional del CIMAV

4.1 Estado que guarda el Programa Institucional

4.2 Resultados derivados del Objetivo Prioritario 1. Reducir el rezago científico y tecnológico mediante el fortalecimiento de las capacidades del CIMAV e impulsando el desarrollo sostenible en las áreas de su competencia, buscando elevar la calidad de vida de los mexicanos con acciones de difusión, divulgación y acceso universal al conocimiento.

4.3 Resultados derivados del Objetivo Prioritario 2. Formar talento especializado en programas de posgrado, con nivel de excelencia en las áreas de competencia, capaces de generar conocimientos científicos y tecnológicos, y solucionar problemas en pro del bienestar de la población, con un enfoque alineado a la disminución de la dependencia tecnológica.

4.4 Resultados derivados del Objetivo Prioritario 3 Articular las innovaciones científico-tecnológicas con el sector industrial y demás actores de la sociedad



para su transferencia eficiente y eficaz para incidir en las problemáticas nacionales y promover el bienestar general de la población.

4.5 Desempeño administrativo y financiero del Centro, en el ejercicio fiscal 2024

4.6 Registro de metas y parámetros del bienestar

5. Propuestas de iniciativas, estratégicas para colaborar con la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)

6. Casos de éxito





1. Información general

a. Introducción.

El Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C, (CIMAV) es uno de los centros públicos de investigación, coordinados por la recientemente creada Secretaría de Ciencias Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

El CIMAV fue establecido en octubre de 1994, con el propósito de impulsar la ciencia, tecnología e innovación, en las disciplinas de ciencia de materiales, medio ambiente, energía y nanotecnología y durante el 2024, se celebró su aniversario número 30, con una serie de actividades científicas, culturales, deportivas y sociales, en las que se buscó fortalecer los lazos de integración del personal.

El CIMAV, con sus años de experiencia, ha alcanzado un notable nivel de desarrollo y consolidación en el sector académico, a través de la formación de talento especializado, mediante la publicación de documentos en revistas y medios especializados, así como en el sector industrial, por medio de servicios y proyectos tecnológicos.

Actualmente, el CIMAV cuenta con una sede principal, localizada en la ciudad de Chihuahua, y dos subsedes, una de ellas en Monterrey, Nuevo León, y la segunda en Durango, Durango.

La sede Chihuahua cuenta con cuatro departamentos académicos, en los que se distribuye el personal científico y tecnológico;

- Ingeniería y Química de Materiales, con áreas de investigación como procesos y transformaciones químicas en materiales nanoestructurados, polímeros, catalizadores, compósitos y cerámicos, diseño, desarrollo y optimización de



recubrimientos específicos para el sector industrial, síntesis y caracterización de materiales avanzados y sustancias químicas, diseño, desarrollo y optimización de materiales y procesos para generación, almacenamiento y uso de energía (convencional y renovable) y optimización de procesos químicos a partir de su simulación y modelación

- Medio Ambiente y Energía, con áreas de trabajo determinación de los agentes físicos, químicos y biológicos que afectan al medio ambiente. Investigaciones en materia de energías renovables. Proyectos de vinculación en temas de contaminación del aire, agua y suelo, así como de manejo de residuos y apoyo a la industria en cuantificación de contaminantes en emisiones y descargas, así como ambiente laboral.
- Física de materiales; con áreas de investigación como desarrollo de materiales para spintrónica, Efecto Magnetocalórico y refrigeración magnética, desarrollo de materiales nanoestructurados funcionales, cristalografía y diseño de materiales para aplicaciones ópticas
- Metalurgia e integridad estructural, con áreas de investigación como Materiales Metálicos, Compuestos y Nanoestructurados Deterioro de Materiales y Recubrimientos Modelación de Materiales y Procesos Industriales

Por otro lado, la subsede Monterrey, localizada en el Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT), cuenta con áreas de investigación como;

- Dispositivos Electrónicos y Dispositivos para Conversión de Energía
- Química y Física Computacional



- Polímeros y Surfactantes
- Metalurgia y Recubrimientos
- Nanocompuestos y Nanoestructuras

Finalmente, la subsede Durango, cuenta con dos principales áreas de investigación, que son;

- Energías renovables;
- Medio ambiente

La SECIHTI, como cabeza de sector, mide y evalúa el desempeño del CIMAV a través de lo establecido en el Programa Institucional que el CIMAV desarrolló y presentó durante el 2021 el cual fue aprobado y publicado en el DOF el mes de abril del 2022. Con el propósito de mantenerlo alineado a las necesidades institucionales, así como a la nueva Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, este Programa, fue modificado y aprobado por el Consejo de Administración del Centro, durante su Segunda Sesión Ordinaria, llevada a cabo en el mes de octubre del 2023, y finalmente, en su versión modificada, fue publicado en el DOF el 26 de diciembre del 2023.

Este instrumento es el eje rector de las actividades que desarrolla el CIMAV y mediante el cual, es posible determinar el grado de cumplimiento de las metas planteadas, mediante las metas y parámetros del bienestar, establecidos para este propósito.



El sustento del Programa Institucional se basa en un análisis que, en primera instancia, considera los lineamientos emitidos por el entonces CONAHCYT, establecidos en su PECITI.

Con el propósito de dar cumplimiento a los lineamientos establecidos en el Marco de Operación del Comité Externo de Evaluación (CEE) del Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C., se presentan a continuación los resultados del CIMAV correspondientes al ejercicio fiscal 2024. Estos resultados abarcan el desempeño y la incidencia de las actividades llevadas a cabo por el personal científico y tecnológico, orientadas a mejorar las condiciones de vida de la población.

Esta información permitirá a los miembros del Comité Externo de Evaluación, conocer el avance y los logros que presenta el Centro en los Objetivos Prioritarios establecidos en el Programa Institucional.

Adicionalmente, se presentan algunos de los proyectos destacados del Centro, como casos de éxito de los departamentos académicos de la Unidad Chihuahua, y las subsedes de las ciudades de Monterrey y Durango.

b. Antecedentes.

Las acciones desarrolladas por la comunidad que integra el CIMAV, buscan desarrollar, definir e integrar políticas, programas, planes y acciones eficaces bien orientadas tanto para las prioridades del país como para ser competitivos internacionalmente.

El enfoque es la generación de nuevos conocimientos científicos, divulgación y difusión de éstos, formación nuevos talentos especializados en materia de ciencias, tecnologías e innovación; además de las actividades de vinculación con el sector



productivo, acceso universal al conocimiento y propiedad intelectual. Con todo esto, se contribuye a coadyuvar a la solución de las necesidades prioritarias de la población.

El CIMAV, está constituido como una institución orientada, tanto a la formación de talentos especializados, como al desarrollo de proyectos de investigación y a la prestación de servicios y proyectos tecnológicos en las áreas de materiales, nanotecnología, energía y medio ambiente. Lo anterior le ha permitido la consolidación de los procesos de generación y transferencia de conocimiento, la formación de nuevos cuadros de científicos y tecnólogos, difusión del conocimiento generado, la publicación de artículos científicos de alcance internacional y la generación de patentes.

c. Objetivos Prioritarios del Programa Institucional del CIMAV.

Como se ha mencionado, el Programa Institucional es un documento de planeación para lograr las metas y objetivos puntuales, orientados a ofrecer soluciones para los temas prioritarios del país, y que está diseñado para fortalecer y consolidar las capacidades científicas y tecnológicas, con una directa alineación al PECITI de la SECIHTI, buscando contribuir al desarrollo nacional y a mejorar la calidad de vida de la población en aspectos como:

- Investigación y desarrollo científico-tecnológico, a través de proyectos de incidencia para el desarrollo de nuevos materiales, mejorar los existentes o aplicarlos en diferentes áreas, en pro de la población.



- Formación de nuevos profesionales en humanidades, ciencias y tecnologías, para la capacitación y formación de nuevos cuadros de profesionales en disciplinas como la ciencia de materiales, energía y medio ambiente.
- Divulgación y difusión científica y tecnológica, para diseminar los avances y conocimientos generados por el Centro a la comunicación científica, estudiantes y el público en general.
- Colaboración con los diversos sectores de la sociedad, para ofrecer soluciones en pro de la disminución de la dependencia tecnológica nacional.
- Participación en redes de colaboración, con un énfasis especial en la articulación entre la red de Centros Públicos de Investigación, pero también con universidades e instituciones educativas nacionales e internacionales.

Lo anterior, se lleva a cabo con base en los tres objetivos prioritarios establecidos como eje rector de las actividades que desempeña el CIMAV, y que a su vez cuentan con estrategias prioritarias y acciones puntuales que marcan la pauta de las actividades a desempeñar, y que cuentan con métricas puntuales a través de las metas y parámetros del bienestar definidos para cada objetivo prioritario.

Estos objetivos prioritarios fueron definidos en el Programa Institucional, cuya última reforma se publicó el pasado mes de diciembre del 2023, a partir del análisis de las necesidades identificadas en el Plan Nacional de Desarrollo y el Programa Especial en Ciencia Tecnología e Innovación, y son los siguientes:

- Reducir el rezago científico y tecnológico mediante el fortalecimiento de las capacidades del CIMAV e impulsando el desarrollo sostenible en las áreas de



su competencia, buscando elevar la calidad de vida de los mexicanos con acciones de difusión, divulgación y acceso universal al conocimiento.

- Formar talento especializado en programas de posgrado, con nivel de excelencia en las áreas de competencia, capaces de generar conocimientos científicos y tecnológicos, y solucionar problemas en pro del bienestar de la población, con un enfoque alineado a la disminución de la dependencia tecnológica.
- Articular las innovaciones científico-tecnológicas con el sector industrial y demás actores de la sociedad para su transferencia eficiente y eficaz para incidir en las problemáticas nacionales y promover el bienestar general de la población

Para lograr el primer objetivo prioritario, se definieron a partir del análisis de las características de éste, tres estrategias prioritarias que son;

1.1.- Promover la interacción entre los grupos del centro a través de la implementación de actividades interdisciplinarias con el propósito de incidir de manera más efectiva en problemáticas nacionales.

1.2.- Desarrollar el área de ciencia y tecnología aplicada para incidir en la solución de problemas de la sociedad y prioritarios nacionales.

1.3.- Promover los conocimientos, innovaciones y desarrollos tecnológicos, generados en el CIMAV, y sus beneficios para la sociedad.

Para el segundo objetivo prioritario, fueron tres las estrategias prioritarias definidas para su atención, y son las siguientes:



- 2.1.- Mantener la pertinencia y vigencia de los programas de posgrado del CIMAV, para formar talentos especializados de excelencia, en los temas de competencia del Centro.
- 2.2.- Fomentar en los programas de posgrado del centro, el interés y capacidad para innovar y/o crear empresas de base tecnológica.
- 2.3.- Obtener la retroalimentación de los egresados de nuestros programas, con relación a su trayectoria laboral, a partir de la obtención de su título de maestría y/o doctorado.

Finalmente, para el tercer objetivo, relacionado con la formación de nuevos talentos, se establecieron dos estrategias prioritarias, que son:

- 3.1.- Incrementar la vinculación y concertar alianzas, con los diferentes actores de la sociedad para generar sinergias en pro de la atención de los problemas nacionales estratégicos.
- 3.2.- Establecer al menos un proyecto institucional multidisciplinario e interdepartamental que tenga como objetivo impulsar la transferencia de un desarrollo del CIMAV a los usuarios de la tecnología.

d. Capital humano

El capital humano del CIMAV, es el activo principal, pues es gracias a éste, se desarrollan las actividades sustantivas de la institución y gracias al cual, este Centro ha logrado consolidarse como un centro de investigación de competencia nacional e internacional.



En la Institución, se reconoce la capacidad productiva que presenta, tanto del personal científico/tecnológico, como del administrativo, de apoyo, y del personal de mando, para el alcance de las metas y objetivos institucionales.

Al cierre del ejercicio fiscal 2024, el Centro cuenta con 192 personas de estructura. De estas, 147 pertenecen a la categoría de personal científico y tecnológico, 39 a la de personal administrativo y mandos medios y 6 personas contratadas por honorarios asimilados.

Adicionalmente, se cuenta con 19 Investigadores por México y 35 posdoctorantes, mismos que contribuyen también con la producción científica institucional.

La distribución detallada por tipo de personal y distribución por nivel en el SNII, se observa en la tabla que se muestra a continuación:

	DISTRIBUCIÓN POR NIVEL EN EL SNII					
Tipo de Adscripción	Candidato al SNI	SNI nivel 1	SNI nivel 2	SNI nivel 3	Emérito	TOTAL
Investigador Titular	1	12	23	9	2	47
Investigador Asociado	0	1	0	0	0	1
Asistente de investigador	0	0	0	0	0	0
Técnico Titular	1	19	4	0	0	24
Técnico Asociado	0	0	0	0	0	0
Técnico Auxiliar	0	0	0	0	0	0
Personal Administrativo+Mandos medios	0	0	0	0	1	1
Personal Honorarios	0	0	0	0	0	0





Asimilados						
Investigador por México	1	15	2	0	0	18
Posdoctorantes	14	7	0	0	0	21
Total	17	54	29	9	3	112

Por otro lado, la distribución del personal por tipo de adscripción y sede, se muestra en la tabla siguiente;

	DISTRIBUCIÓN POR SEDE			
Tipo de Adscripción	CH	MTY	DGO	TOTAL
Investigador Titular	30	17	2	49
Investigador Asociado	0	0	1	1
Asistente de investigador	1	0	0	1
Técnico Titular	68	13	5	86
Técnico Asociado	8	1	0	9
Técnico Auxiliar	1	0	0	1
Personal Administrativo+Mandos medios	37	2	0	39
Personal Honorarios Asimilados	4	1	1	6
Investigador por México	11	5	3	19
Posdoctorantes	24	10	1	35
Total	184	49	13	246





De los 49 investigadores del CIMAV, 47 de ellos (no están considerados los Investigadores por México), se encuentran actualmente adscritos al Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNII).

Dos son Eméritos, nueve de ellos pertenecen al nivel 3, y veintitrés al nivel 2. Esto significa que el 72% de los investigadores, cuentan con un importante nivel de consolidación.

Por otro lado, del total de técnicos académicos, 24 de ellos se encuentran en el Sistema Nacional de Investigadores, lo que representa el 27% del total.

Finalmente, 1 Investigador por México pertenece al nivel de Candidato del SNII; 19 más, en el nivel I y 4 al nivel II.

Cabe mencionar que, a partir del 2023, el SNII, resolvió otorgar la máxima distinción a tres investigadores del CIMAV (uno de ellos jubilado), como Investigadores Nacionales Eméritos. Esta distinción se otorga a investigadores con trayectoria sobresaliente en el área de su especialización, donde han realizado contribuciones fundamentales a la generación de nuevo conocimiento científico, que les ha permitido alcanzar el reconocimiento y prestigio nacional e internacional.



2. RECOMENDACIONES DEL COMITÉ EXTERNO DE EVALUACIÓN, AL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS.

El Comité Externo de Evaluación tiene como propósito proporcionar una perspectiva objetiva y estratégica para fortalecer las capacidades y el impacto del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). Estas recomendaciones buscan potenciar la calidad de la investigación, la innovación tecnológica, la vinculación con el sector productivo y la formación de capital humano.

A través de un análisis riguroso y propositivo, se identifican áreas de oportunidad que permitan al CIMAV consolidarse como un referente nacional e internacional en su campo, maximizando su contribución al desarrollo científico, económico y social. Derivado de la sesión del Comité Externo de Evaluación llevada a cabo en marzo de 2024, los miembros determinaron una calificación general de 99/100, para el Centro. No obstante, se realizaron, a la Titular del Centro y su equipo de trabajo, las seis recomendaciones descritas a continuación. En esta misma Tabla se describen las acciones que se han realizado por el CIMAV para su atención.

Recomendación 1;

Incremento en los techos presupuestales: Aplaudimos los esfuerzos realizados para gestionar ante la SHCP un incremento en el techo presupuestal de recursos propios, lo cual es un avance significativo. Sin embargo, instamos a que se busquen mecanismos que permitan efectuar dicho incremento de manera más ágil y en un periodo que favorezca la ejecución de procesos de adquisición en tiempo útil. Es imperativo



trabajar con las entidades correspondientes para asegurar que estos incrementos se aprueben y puedan ser efectivos de manera anticipada dentro del año fiscal en curso.

Acciones Realizadas;

Al 31 de diciembre de 2024, se cumplió con la meta de recursos propios establecidos. Sin embargo, debido a que el cierre presupuestal ocurrió en mayo, ya no fue posible solicitar el incremento del techo presupuestal ante la SHCP, ya que en ese momento aún no se había alcanzado la meta establecida (faltaban alrededor de siete meses). Como resultado, en el ejercicio presupuestal de 2024 quedó un 14.68% de recursos propios disponibles. Esperamos que en 2025 podamos solicitar dicho incremento.

Avance;

En la Segunda Sesión Ordinaria del Consejo de Administración del CIMAV (2024), se acordó eliminar esta recomendación, ante la imposibilidad de dar cumplimiento.

Recomendación 2;

Optimización de procesos de adquisición: Felicitamos al CIMAV por la revisión y simplificación de la plataforma para realizar adquisiciones, lo cual representa un paso importante hacia la eficiencia operativa y la reducción de cargas administrativas. Recomendamos continuar con la mejora de estos procesos digitales y explorar nuevas tecnologías o metodologías que puedan seguir reduciendo los tiempos y complejidades en las adquisiciones y otros procesos administrativos.





Acciones Realizadas;

Se trabaja continuamente en la optimización de los procesos para mejorar su eficiencia y eficacia. Como parte de este esfuerzo para fortalecer los procesos administrativos integrales, se implementó la concentración de información de cada contrato de adquisición, incorporando documentación útil para las distintas áreas administrativas. Esto facilita la ejecución de compras, su formalización, seguimiento y cierre contractual, reduciendo tiempos de gestión y proporcionando un mayor respaldo documental.

Avance;

100%

Recomendación 3;

Promoción y desarrollo de personal: Valoramos positivamente la implementación de convocatorias para la promoción del personal técnico e investigadores dentro del CIMAV, reconociendo así el talento y el compromiso de su personal. No obstante, se reconoce la necesidad de aumentar el número de plazas para investigadores. Instamos a buscar alternativas creativas y a dialogar con las autoridades correspondientes para flexibilizar las normativas que permitan la creación o conversión de plazas que fortalezcan aún más la capacidad investigativa y académica del Centro.

Acciones Realizadas;



Como punto de partida, se flexibilizó el Estatuto de Personal Académico en lo relativo a la promoción de técnicos académicos, permitiendo que quienes alcancen el nivel II del SNII puedan participar en convocatorias internas para ocupar plazas de investigador.

En el programa *Investigadores por México*, se han obtenido tres nuevas plazas en 2024.

Asimismo, se mantiene un diálogo constante con las autoridades de la SECIHTI para gestionar el aumento de plazas de investigadores y técnicos, aunque hasta la fecha no se ha obtenido una respuesta positiva.

Además, se solicitó la reclasificación de las plazas de Técnicos Titulares “C” con nivel II del SNII a Investigador Titular “A”, gestión que tampoco ha prosperado.

Avance;

100%

Recomendación 4;

Retención de talento: Aplaudimos la estrategia de retención de egresados destacados a través de estancias posdoctorales. Sin embargo, para asegurar la sostenibilidad a largo plazo del talento dentro de la institución, recomendamos el desarrollo de un programa integral que incluya mecanismos de retención a largo plazo, tales como la creación de nuevas plazas, incentivos para la incorporación de egresados a proyectos de investigación a largo plazo, y la creación de oportunidades de carrera





dentro del CIMAV que les permita a los egresados continuar contribuyendo al desarrollo científico y tecnológico.

Acciones Realizadas;

Como primer paso, se creó una plataforma para la Red de Egresados de los programas de Posgrado del Cimav. Uno de los objetivos es mantener el contacto de los egresados con las actividades que se realizan en el Cimav, buscando una integración que pueda derivar en su participación en proyectos de investigación del Centro, así como su participación en la formación de talento especializado. Estas actividades son complementarias y alternativas a lo descrito en el punto anterior. Como se mencionó en la recomendación anterior, de forma permanente se habla con las autoridades de Secihti para el aumento de plazas de investigadores y técnicos.

Avance;

100%

Recomendación 5;

Optimizar la Gestión de Financiamiento: el CIMAV debe buscar mecanismos más eficientes para la obtención y administración de financiamiento externo, asegurando la aprobación y utilización de los fondos en un marco temporal que permita el máximo aprovechamiento.

Acciones Realizadas;

En seguimiento a la recomendación de optimizar la gestión de financiamiento, CIMAV ha impulsado estrategias para fortalecer la





colaboración con el sector industrial, académico y gubernamental, permitiendo la generación de proyectos de I+D+i con financiamiento compartido. Un ejemplo de esta estrategia es el Diplomado Internacional en Semiconductores, para el cual se firmó un convenio de colaboración con la Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico (SIDE), en el cual CIMAV, la Universidad de Texas en Dallas (UTD), la Fundación Desarrollo Sostenible Poniente y el Centro de Entrenamiento en Alta Tecnología (CENALTEC) y COPARMEX, contribuyeron con recursos en especie, mientras que la SIDE proporcionó financiamiento a través de un esquema de apoyo específico. Este modelo de cooperación ha permitido optimizar el uso de recursos, facilitando la ejecución de proyectos estratégicos alineados con las necesidades del sector productivo y fortaleciendo la vinculación entre la academia, la industria y el gobierno. CIMAV continuará promoviendo este tipo de esquemas colaborativos para garantizar una gestión financiera eficiente y maximizar el impacto de sus iniciativas de investigación y desarrollo tecnológico, prueba de esto es que este diplomado continuará impartándose en el 2025 bajo este mismo esquema. Se requiere además que en el caso de proyectos académicos con fondos externos, el recurso pueda ingresar como Fondos en Administración, con el fin de poder disponer del presupuesto en la modalidad plurianual.

Avance;

100%





Recomendación 6;

Fortalecer la Vinculación con el Sector Productivo: Para mejorar la situación laboral de los egresados, el CIMAV debe intensificar las alianzas con el sector productivo y explorar nuevas

Acciones Realizadas;

Se están realizando esfuerzos significativos para fortalecer la vinculación de CIMAV con el sector productivo. En este contexto, se han establecido convenios estratégicos con líderes de las iniciativas de especialización inteligente: Frente Norte, Poniente 2050 y Chihuahua Futura. Se firmaron 10 convenios con instituciones públicas y privadas como: Universidad Autónoma De Querétaro, Integrity, Corrosion And Reliability Management S.A De C.V (INCORA), Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, Kairos Investment Advisors S.A De C.V (KIA), Desarrollo Económico de Ciudad Juárez, A.C. (DESEJ), Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología, GCC Cementos S.A. De C.V. Con el objetivo de consolidar la vinculación empresarial, se han programado visitas de reforzamiento en Ciudad Juárez y Monterrey. Además, hemos iniciado acercamientos con organizaciones clave como INDEX, CANACINTRA y CANACO para actualizar y revitalizar los convenios de colaboración existentes, se realizó un desayuno de vinculación con líderes empresariales en la sede de Chihuahua. Mantenemos una participación activa en el Clúster Automotriz, el Clúster Aeroespacial y DESEC. Asimismo, CIMAV tiene presencia destacada en ferias y congresos del sector





empresarial, incluyendo la XIV Conferencia Internacional de Minería, el Evento Binacional de la Industria Electrónica, EXPO MRO, y el International Mobility of the Future Summit en CINTERMEX, entre otros. Una de las estrategias fue crear una Plataforma de Egresados, la cual permitirá mejorar la Vinculación con el sector productivo, donde los egresados se encuentran desarrollando sus actividades y además, esta plataforma será un medio para ofrecer educación continua, como: talleres, diplomados y servicios especializados requeridos por la industria. Se logró junto con el Buró de Convenciones de Chihuahua la sede del Integrity Management and Corrosion Seminar IMCORRS 2025, ese es un evento que permitirá una gran vinculación entre la triple hélice debido a que: es un espacio que permite a las empresas mostrar sus propuestas y soluciones tecnológicas en el área de corrosión, a los investigadores mostrar avances y propuestas científicas y tecnológicas y a los estudiantes participar de forma activa a través de la presentación de trabajos de investigación.

Avance;

100%





3. CONTENIDO DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL.

Como se ha mencionado, el Programa Institucional es un documento de planeación para lograr las metas y objetivos puntuales, orientados a ofrecer soluciones para los temas prioritarios del país, y que está diseñado para fortalecer y consolidar las capacidades científicas y tecnológicas, con una directa alineación al PECITI 2021-2024, buscando contribuir al desarrollo nacional y a mejorar la calidad de vida de la población en aspectos como:

- Investigación y desarrollo científico-tecnológico, a través de proyectos de incidencia para el desarrollo de nuevos materiales, mejorar los existentes o aplicarlos en diferentes áreas, en pro de la población.
- Formación de nuevos profesionales en humanidades, ciencias y tecnologías, para la capacitación y formación de nuevos cuadros de profesionales en disciplinas como la ciencia de materiales, energía y medio ambiente.
- Divulgación y difusión científica y tecnológica, para diseminar los avances y conocimientos generados por el Centro a la comunicación científica, estudiantes y el público en general.
- Colaboración con los diversos sectores de la sociedad, para ofrecer soluciones en pro de la disminución de la dependencia tecnológica nacional.
- Participación en redes de colaboración, con un énfasis especial en la articulación entre la red de Centros Públicos de Investigación, pero también con universidades e instituciones educativas nacionales e internacionales.



Lo anterior, se lleva a cabo con base a los tres objetivos prioritarios establecidos como eje rector de las actividades que desempeña el CIMAV, y que a su vez cuentan con estrategias prioritarias y acciones puntuales marcan la pauta de las actividades a desempeñar, y que cuentan con métricas puntuales a través de las metas y parámetros del bienestar definidos para cada objetivo prioritario.

Estos objetivos prioritarios fueron definidos en el Programa Institucional 2022-2024, cuya última reforma se publicó el pasado mes de diciembre del 2023, a partir del análisis de las necesidades identificadas en el Plan Nacional de Desarrollo y el Programa Especial en Ciencia Tecnología e Innovación, y son los siguientes:

- Reducir el rezago científico y tecnológico mediante el fortalecimiento de las capacidades del CIMAV e impulsando el desarrollo sostenible en las áreas de su competencia, buscando elevar la calidad de vida de los mexicanos con acciones de difusión, divulgación y acceso universal al conocimiento.
- Formar talento especializado en programas de posgrado, con nivel de excelencia en las áreas de competencia, capaces de generar conocimientos científicos y tecnológicos, y solucionar problemas en pro del bienestar de la población, con un enfoque alineado a la disminución de la dependencia tecnológica.
- Relevancia del Objetivo prioritario 3: Articular las innovaciones científico-tecnológicas con el sector industrial y demás actores de la sociedad para su transferencia eficiente y eficaz para incidir en las problemáticas nacionales y promover el bienestar general de la población



Para lograr el primer objetivo prioritario, se definieron a partir del análisis de las características de éste, tres estrategias prioritarias que son;

- 1.1.- Promover la interacción entre los grupos del centro a través de la implementación de actividades interdisciplinarias con el propósito de incidir de manera más efectiva en problemáticas nacionales.
- 1.2.- Desarrollar el área de ciencia y tecnología aplicada para incidir en la solución de problemas de la sociedad y prioritarios nacionales.
- 1.3.- Promover los conocimientos, innovaciones y desarrollos tecnológicos, generados en el CIMAV, y sus beneficios para la sociedad.

Para el segundo objetivo prioritario, fueron tres las estrategias prioritarias definidas para su atención, y son las siguientes:

- 2.1.- Mantener la pertinencia y vigencia de los programas de posgrado del CIMAV, para formar talentos especializados de excelencia, en los temas de competencia del Centro.
- 2.2.- Fomentar en los programas de posgrado del centro, el interés y capacidad para innovar y/o crear empresas de base tecnológica.
- 2.3.- Obtener la retroalimentación de los egresados de nuestros programas, con relación a su trayectoria laboral, a partir de la obtención de su título de maestría y/o doctorado.

Finalmente, para el tercer objetivo, relacionado con la formación de nuevos talentos, se establecieron dos estrategias prioritarias, que son:



3.1.- Incrementar la vinculación y concertar alianzas, con los diferentes actores de la sociedad para generar sinergias en pro de la atención de los problemas nacionales estratégicos.

3.2.- Establecer al menos un proyecto institucional multidisciplinario e interdepartamental que tenga como objetivo impulsar la transferencia de un desarrollo del CIMAV a los usuarios de la tecnología.

Con los objetivos y estrategias prioritarios descritos previamente, se tiene incidencia y alineación a los objetivos prioritarios del PECITI 2021-2024, en temas como:

- Contribución al fortalecimiento de las comunidades HCT.
- Formación de nuevos cuadros científicos y tecnólogos
- Contribución a la ciencia básica y de frontera.
- Contribución a la reducción de la dependencia tecnológica nacional
- Promover procesos de innovación y desarrollo tecnológico
- Ofrecer bienestar a la población
- Contribución a la solución de problemas nacionales.
- Contribución al acceso universal del conocimiento.
- Participación en proyectos puntuales que contribuyen a la agenda científica nacional



4. REGISTRO DE LAS METAS Y PARÁMETROS (INDICADORES) DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DEL CIMAV.

4.1 Estado que guarda el Programa Institucional.

A partir del análisis de la situación de la ciencia, tecnología e innovación, se identificó la necesidad, en congruencia del PND y PECITI, del desarrollo del de los Centros Públicos de Investigación.

A partir de lo anterior, comenzó el proceso de identificación de aquellos aspectos puntuales en los que el CIMAV podía incidir desde sus líneas de investigación y actividades, para la estructuración de los tres objetivos prioritarios, así como las estrategias prioritarias y acciones puntuales descritas previamente.

Una vez que dicho documento fue concluido, se solicitó a la Unidad de Articulación Sectorial y Regional (UASR), del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, la gestión del dictamen de la Unidad de Planeación, Comunicación y Cooperación Internacional, misma que fue emitida el pasado 2 de febrero del año 2022.

Dicho dictamen fue recibido por la UASR, y se notificó al CIMAV, para que posteriormente fuera aprobado el Programa Institucional, el 11 de marzo del mismo año 2022.

Una vez aprobado por el órgano de Gobierno del CIMAV, se envió a la Comisión Nacional de Mejora Regulatoria y finalmente, el Programa Institucional 2022-2024, del CIMAV, fue publicado en el Diario Oficial de la Federación, el 19 de abril del mismo año 2022.



Una vez oficializada la publicación del Programa Institucional, comenzó su implementación que derivó en la identificación de los elementos de información pertinentes para la medición de las metas y parámetros del bienestar.

Finalmente, buscando mantener la pertinencia de los Objetivos Prioritarios, así como sus respectivas actividades prioritarias y las metas y parámetros establecidos, se llevó a cabo una revisión del Programa Institucional del CIMAV, para adecuarlo a la realidad social, institucional y jurídica actuales.

De esta manera, una vez concluido el proceso de revisión, actualización y modificación de los aspectos pertinentes, este proyecto de modificación del Programa Institucional del CIMAV, fue sometido a los procesos de validación y aprobación correspondientes, y publicado en el Diario Oficial de la Federación en el mes de diciembre del 2024.

4.2 Acciones para la atención del Objetivo Prioritario 1.

El primer objetivo prioritario del Programa Institucional del Centro de Investigación en Materiales Avanzados, 2022-2024, versa entorno a reducir el rezago científico y tecnológico mediante el fortalecimiento de las capacidades del CIMAV e impulsando el desarrollo sostenible en las áreas de su competencia, buscando elevar la calidad de vida de los mexicanos, con acciones de difusión, divulgación y acceso universal al conocimiento, con el propósito de elevar la calidad de vida de los mexicanos, y para su consecución, se plantearon tres estrategias prioritarias que son:



- Promover la interacción entre los grupos del centro a través de la implementación de actividades interdisciplinarias con el propósito de incidir de manera más efectiva en problemáticas nacionales.
- Desarrollar el área de ciencia y tecnología aplicada para incidir en la solución de problemas de la sociedad y prioritarios nacionales.
- Promover los conocimientos, innovaciones y desarrollos tecnológicos, generados en el CIMAV, y sus beneficios para la sociedad.

Lo anterior se trata de una estrategia integral que busca promover el desarrollo científico y tecnológico, con incidencia principalmente en la región norte de México, cuyo enfoque busca fortalecer las capacidades del CIMAV, y promover el desarrollo sostenible en áreas como la ciencia de materiales avanzados, energía y medio ambiente, y existen acciones clave que forman parte de este objetivo prioritario:

- Fortalecimiento del CIMAV, a través de un fondo semilla que busca detonar proyectos de investigaciones de incidencia, y al mismo tiempo mantenerse a la par con los desarrollos científico-tecnológicos, internacionales en las áreas de interés.
- Fortalecimiento del CIMAV, promoviendo estancias de investigación nacionales e internacionales, buscando alianzas estratégicas para fomentar la cooperación científica y tecnológica.
- Establecer mecanismos para facilitar temas de transferencia tecnológica del CIMAV, promoviendo la innovación y competitividad, buscando reducir la dependencia tecnológica extranjera hacia nuestro país



- Promover el desarrollo sostenible a través del uso de recursos naturales y la adopción de tecnologías limpias y amigables con el medio ambiente, buscando el bienestar general de la población.
- Garantizar que los avances y resultados de las investigaciones del CIMAV, sean difundidos y divulgados a los actores sociales, para maximizar su impacto.
- Establecimiento de metas y parámetros de desempeño, como mecanismos de evaluación para la medición del impacto social de las actividades del CIMAV.
- Articulación con otros centros de investigación e Instituciones de Educación superior, en pro de las políticas establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo, para crear un entorno propicio para el desarrollo sostenible en México.

Estas acciones integradas buscan impulsar significativamente el desarrollo científico y tecnológico de México, así como reducir la dependencia tecnológica nacional, lo que, a su vez, contribuye a elevar la calidad de vida de los mexicanos y fortalecer la economía del país.

A partir de la implementación de las acciones descritas previamente, se presentan los siguientes resultados, para la **primera estrategia prioritaria del Objetivo Prioritario 1**: ***"Promover la interacción entre los grupos del centro a través de la implementación de actividades interdisciplinarias con el propósito de incidir de manera más efectiva en problemáticas nacionales."***

1. De los 49 investigadores del CIMAV, 47 de ellos (no están considerados los Investigadores por México, ni los posdoctorantes), se encuentran



actualmente adscritos al Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNII).

Dos son Eméritos, nueve de ellos pertenecen al nivel 3, y veintitrés al nivel 2. Esto significa que el 72% de los investigadores, cuentan con un importante nivel de consolidación.

Por otro lado, del total de técnicos académicos, 24 de ellos se encuentran en el Sistema Nacional de Investigadores, lo que representa el 27% del total.

Finalmente, 1 Investigador por México pertenece al nivel de Candidato del SNII; 19 más, en el nivel I y 4 al nivel II.

2. Con el fin de fomentar en los académicos el interés en desarrollar propuestas para atender los problemas nacionales prioritarios en el año 2024, se creó y publicó la convocatoria de proyectos internos. Esta convocatoria busca la generación de conocimiento científico, desarrollo de avances tecnológicos, y generación de propiedad industrial y patentes. Como resultado en algunos de los proyectos se establecieron alianzas y convenios estratégicos con CPIs e IES para potencializar las capacidades del CIMAV. A continuación se muestra el listado de proyectos internos, aprobados durante el primer semestre del año.

Se aprobaron un total de 20 proyectos, con la siguiente distribución por sede, se aprobaron 16 proyectos para la sede Chihuahua, 3 para la sede Monterrey y 1 para la sede Durango.

No.	Proyecto	Responsable	Monto Solicitado
-----	----------	-------------	------------------





PI-2024-01	Desarrollo de nuevas metodologías para el análisis de contaminantes emergentes, orientado al monitoreo y diagnóstico de cuerpos de agua y plantas de tratamiento (fase de expansión del proyecto PI-23-11-25011 a otros contaminantes de interés)	Rogelio Rodríguez Maese	200,000
PI-2024-02	Detección de PFAS ("forever chemicals") en agua de lluvia y otras fuentes naturales y/o tratadas mediante sustratos SERS: Estudio Piloto	Margarita Sánchez Domínguez	200,000
PI-2024-03	Desarrollo de nanomateriales para sensor electroquímico de detección de metales pesados en agua: Avances hacia la salud pública y la seguridad alimentaria	Lorena Álvarez Contreras	200,000
PI-2024-04	Reconocimiento de patrones de glifosato en suelos agrícolas mediante sensores interdigitados de microondas y análisis de componentes principales	José Andrés Matutes Aquino	200,000
PI-2024-05	Optimización del sistema catalítico TiO ₂ /metal mediante las metodologías de ALD e impresión 3D para eliminación de contaminantes ambientales	Eduardo Martínez Guerra	200,000
PI-2024-06	Dolomita Promovida con Metales Alcalinos como Absorbente Sólido de CO ₂ con Incidencia en la Mitigación del Cambio Climático	Alejandro López Ortiz	200,000
PI-2024-07	Sistema portátil de desinfección fotocatalítica de aire en interiores usando estructuras Impresas en 3D.	José Bonilla Cruz	200,000
PI-2024-08	Degradación de Materiales Compuestos PLA/Ceras/Nanopartículas para empaques de un solo uso: Un Estudio Integral bajo condiciones de Laboratorio y Exploración en el Suelo de Chihuahua.	Mónica Elvira Mendoza Duarte	200,000





PI-2024-09	Aplicación de recubrimientos basados en nanomateriales de MoS ₂ : Hacia el bienestar social y el cuidado de la salud mediante superficies antimicrobianas multipropósito	Anabel de la Cruz Delgado	200,000
PI-2024-10	Evaluación y propuesta de mejora de la gestión de residuos sólidos en el Estado de Chihuahua a través de la conformación de una red de promotores ambientales con enfoque en economía circular	Luis Armando Lozoya Márquez	200,000
PI-2024-11	Desarrollo de una bionanoformulación con potencial uso en agricultura. Etapa I	Claudia Adriana Ramírez Valdespino	199,700
PI-2024-12	Implementación de Tecnología de Desescarche con Aprovechamiento de Calor Residual en Cámaras frigoríficas	Daniel Arturo Leal Chávez	200,000
PI-2024-13	Cuantificación de las reservas de carbono en el suelo y en la vegetación a partir de técnicas de percepción remota, datos locales y técnicas de aprendizaje automático para el Parque Ecológico El Tecuán	Samuel Villarreal Rodríguez	190,000
PI-2024-14	Desarrollo de un biosensor modular para la identificación de polimorfismos del gen CYP19A1 asociados con riesgo de cáncer en individuos expuestos a contaminantes ambientales	Miguel Alonso Orozco Alvarado	85,000
PI-2024-15	Análisis de Gases de Combustión generados por Combustibles Alternativos durante la Producción de Clínter	José Martín Herrera Ramírez	200,000
PI-2024-16	Evaluación de la eficiencia del nanocomposito Selenio-quitosano-ácido salicílico para el control del patógeno de la raíz rosada en cultivo de cebolla.	María Antonia Luna Velasco	189,000





PI-2024-17	Películas de biopolímeros con extracto etanólico de propóleo chihuahuense encapsulado en nanoacarreadores para protección poscosecha de frutos producidos en el estado de Chihuahua.	Manuel Román Aguirre	180,000
PI-2024-18	Desarrollo de un sistema electroanalítico miniaturizado basado en grafeno-inducido para el análisis en microvolúmenes (droplet) de biofluidos	Rocío Berenice Domínguez Cruz	200,000
PI-2024-19	Promoción de la Seguridad Alimentaria y Desarrollo Rural Sostenible a través de la Implementación de Tecnologías Solares	Mario Nájera Trejo	200,000
PI-2024-20	Desarrollo de suelas de zapatos a partir de desechos de polibutiral de vinilo con aplicación a la industria del calzado	Sergio Gabriel Flores Gallardo	200,000
		Total	3,843,700

3. Además de los 20 proyectos de investigación financiados con fondos propios del CIMAV, se cuenta al momento con 32 proyectos vigentes de investigación con fondos externos, 20 de ellos de fondos institucionales, 5 en colaboración con gobiernos estatales y 7 más, en colaboración con el sector productivo. En conjunto, dichos proyectos de investigación representan un ingreso por más de 77.6 millones de pesos, para todo el periodo de su ejecución, de los cuales se captaron 32 millones de pesos en el 2024.

Departamento	Proyectos
Departamento de Metalurgia e Integridad Estructural	4 fondos Institucionales





Departamento de Medio Ambiente y Energía	5 fondos Institucionales
Departamento de Ingeniería y Química de Materiales	5 fondos Institucionales 4 vinculación con la industria
Departamento de Física de Materiales	1 fondos Institucionales
Subsede Monterrey	3 fondos Institucionales 3 vinculación con la industria
Subsede Durango	1 fondos Institucionales 2 convenios con gob. estado
Dirección General	1 fondo Institucional

4. Durante el 2024, se publicaron 218 artículos científicos en disciplinas como ciencia de materiales, química, física y astronomía , ingeniería, entre otras. Además, cabe mencionar que el Índice h del CIMAV creció de 63 en 2019 a 74 en 2024.

5. En el periodo que se informa, el mayor número de publicaciones son en revistas como Fuel, con factor de impacto 7.4; International Journal of Hydrogen Energy, con factor de impacto, 7.2 y Progress in Organic Coatings, con factor de impacto 6.6, entre otros.

6. Asimismo, la evolución de la publicación en revistas de cuartiles 1 y 2, pasó de 76.8% en 2019 a 88.9% en el 2024 y los artículos con factor de impacto entre 5 y 11, pasó de 15.7% en el 2019 a 27.1% en el 2024.



7. De manera histórica (1994-2024), se han publicado los siguientes artículos asociados a los **Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)**

NÚMERO DE OBJETIVO (ODS)	ÁREA DE INCIDENCIA	ARTÍCULOS PUBLICADOS
3	Salud y Bienestar	129 artículos
6	Agua Limpia y Saneamiento	138 artículos
7	Energía Asequible y no Contaminante	436 artículos
9	Industria Innovación e Infraestructura	63 artículos
11	Ciudades y Comunidades Sostenibles	40 artículos
12	Producción y Consumo responsables	45 artículos
13	Acción por el clima	75 artículos
17	Alianzas para lograr los objetivos	112 artículos

8. Se promueve entre el personal del CIMAV, un boletín informativo, que contiene convocatorias nacionales e internacionales a fondos de investigación, que permitan fondear proyectos. Dicho boletín es actualizado y difundido de manera semanal, de tal manera que investigadores, técnicos y estudiantes, puedan acceder a las convocatorias para fondos de investigación, estancias y premios.



9. El CIMAV SubSede Monterrey recibió la visita del Prof. Rigoberto Advincula, reconocido por sus aportaciones en materiales nanoestructurados avanzados en la Universidad de Tennessee y líder del grupo de Ciencias Macromoleculares del Laboratorio Nacional Oak Ridge. El propósito principal de su visita fue fortalecer la colaboración con el CIMAV, en proyectos relacionados con impresión 3D e inteligencia artificial, lo que resultó en la firma de un Memorando de Entendimiento (MoU) entre ambas instituciones.

Durante su estancia, el Prof. Advincula impartió el seminario "Síntesis de polímeros dirigida por inteligencia artificial/aprendizaje automático y fabricación digital 3D", ofreciendo una visión profunda y actualizada sobre estos temas. Este acercamiento académico y la firma del MoU sientan las bases para futuras colaboraciones en investigación, desarrollo e innovación, aprovechando las sinergias entre el CIMAV y la Universidad de Tennessee. Esta alianza busca promover avances significativos en la intersección de la impresión 3D y la inteligencia artificial, contribuyendo al progreso científico y tecnológico en estos campos.

La firma de este acuerdo representa un paso importante hacia la consolidación de proyectos conjuntos que integren la experiencia y recursos de ambas partes, con el objetivo de generar soluciones innovadoras y sostenibles en el ámbito de los materiales avanzados y las tecnologías de fabricación digital.

10. El CIMAV participó en el Automotive and Aerospace Nearshoring Summit 2024, organizado por la Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico (SIDE-Chihuahua), en colaboración con *Mexico Now*, evento que se llevó a cabo en el Centro de Convenciones y Exposiciones de la ciudad de Chihuahua. En su tercera edición, el evento reunió a actores clave para explorar las oportunidades de las industrias



automotriz y aeroespacial, con el objetivo de fomentar el intercambio de ideas y promover la colaboración entre empresas y proveedores locales, con compradores nacionales e internacionales a través de reuniones B2B. Además contó con ponencias de primer nivel y se exhibieron fuselajes de aeronaves, componentes electromecánicos y motores. El titular de la SIDE, Ulises Fernández, señaló que esta plataforma fue un espacio de oportunidad, crecimiento y desarrollo para los sectores automotriz y aeroespacial, al permitir a la proveeduría local la posibilidad de acceder a oportunidades de negocio.

11. Se llevó a cabo la Escuela de Microscopía 2024, donde este año, los cursos se llevaron a cabo en formato online del 7 al 11 de octubre, destacando por la implementación de Inteligencia Artificial (IA) en todos sus cursos. Además, se ofreció un curso especial dedicado a la aplicación de IA en el procesamiento de imágenes. Cabe mencionar que el objetivo de la Escuela de Microscopía 2024 es proporcionar una plataforma educativa accesible y avanzada que permita a los participantes adquirir y perfeccionar conocimientos en técnicas de microscopía y es esta ocasión su integración con la Inteligencia Artificial.

12. El pasado 3 y 4 de diciembre de 2024, se llevó a cabo con gran éxito el 2do Foro de Encuentro de Residuos del Estado de Chihuahua, organizado en conjunto por el Gobierno del Estado, la Universidad La Salle y el CIMAV. Este es un evento que reunió a municipios, empresas y actores clave para promover el diálogo, compartir casos de éxito y fomentar buenas prácticas en la gestión de residuos sólidos. Realizado en el Palacio de Gobierno, el foro tuvo como objetivo principal fortalecer el acceso a herramientas y conocimientos que impulsen estrategias integrales de gestión de residuos, marcando un paso significativo hacia la transición a modelos de economía



circular en el estado. Asimismo, el evento destacó la importancia de las redes de colaboración intersectorial para enfrentar los retos ambientales actuales.

13. Alrededor de mil 500 estudiantes de Educación Media Superior fortalecerán sus conocimientos a través del Programa de Ciencia y Tecnología: Módulos “El Mundo de los Materiales”, impulsado por la Secretaría de Educación y Deporte (SEyD) y el CIMAV. Como parte de los trabajos para la implementación de dicho esquema, se llevó a cabo la entrega de constancias a 95 docentes de Ciudad Juárez y Chihuahua que fueron capacitados en cinco módulos: Introducción a la Nanoescala, Materiales Biodegradables, Materiales Deportivos, Concreto, y Compósitos. Las y los docentes a su vez, transmitirán la capacitación y conocimientos adquiridos a cerca de mil 500 estudiantes de nivel preparatoria. De igual manera, se otorgaron 250 paquetes y materiales didácticos a los directivos de los Subsistemas de Educación Media Superior que tendrán la operación frente a grupo de los cinco módulos en sus planteles, incluidos CECyTECH, Cobach, Conalep, Dgeti y SPAYT.

Por otro lado, en materia de la atención de la **segunda estrategia prioritaria del Objetivo Prioritario 1, “Desarrollar el área de ciencia y tecnología aplicada para incidir en la solución de problemas de la sociedad y prioritarios nacionales”**, se reportan los siguientes resultados.

A. PROYECTOS

1. Proyecto: ***Beneficio y Metalurgia Extractiva para Optimizar los Procesos de Extracción de Litio proveniente de Arcillas, Salmueras Geotérmicas y otros yacimientos existentes en México.***



Introducción:

Este proyecto tiene como propósito, generar líneas de proceso para la extracción y refinación del litio, proveniente de los minerales arcillosos del país, con principal énfasis en yacimientos localizados en el Estado de Sonora y de los subproductos del campo geotérmico de Cerro Prieto BC. El liderazgo de este proyecto fue llevado por el CIMAV, y contó con la participación de: CIATEQ, UASLP (Instituto de Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí) y el Servicio Geológico Mexicano (SGM). Este proyecto fue concluido en diciembre del 2024.

A finales del 2024, la nueva administración federal de la SECIHTI, asignó al CIMAV, la coordinación de la red del proyecto prioritario nacional titulado: "La cadena de valor del litio"; lo cuál representa un éxito significativo para la institución, dado que este proyecto representa un gran reto para coadyuvar a la transición energética del país. Desde el año 2020, iniciaron las actividades para determinar el potencial de extracción y aprovechamiento del litio en yacimientos minerales y salmueras en México. En diciembre de 2021, la Dra. Leticia Torres participó como panelista en el foro "Gestión del Litio en México: Beneficios y Desafíos" organizado en la Cámara de Diputados para discutir los retos en el aprovechamiento de este recurso natural. Para marzo del 2022, se lleva a cabo una reunión entre la AMEXID, Yacimientos de Litio de Bolivia (YLB), el entonces CONACYT, con la participación del CIMAV, proponiendo la capacitación del personal de YLB en técnicas analíticas para la caracterización de materiales de la cadena de valor de litio.

En junio del 2023 se realiza la propuesta oficial del proyecto ante la Coordinadora de Sector y el proyecto comienza oficialmente en agosto de ese mismo año financiado por CONAHCYT.



Resumen de resultados

Desarrollo de Procesos de Extracción: Se ha desarrollado un proceso a nivel laboratorio para extraer litio y obtener carbonato de litio grado batería con una pureza de 99.57%, superando el estándar de 99.5% establecido por norma. Se ingresó al IMPI en el mes de octubre del 2024 una solicitud de patente con el título: **Ruta extractiva de litio para producir carbonato de litio grado batería a partir de minerales de arcilla, MX/a/2024/012253, la cual fue otorgada en diciembre de 2024.**

Técnicas Analíticas de caracterización: Se han creado procedimientos de digestión de muestras para medir concentraciones de litio y otros elementos presentes en los minerales de forma precisa.

Tratamiento de Minerales: Se ha ensayado la metodología de extracción desarrollada en seis diferentes cuerpos minerales de arcilla. Estas muestras presentan un contenido de litio variable en función de su origen, cabe mencionar que las muestras tienen su origen en los estados de Sonora y Jalisco, siendo cinco de ellos de Sonora y la otra muestra del estado de Jalisco. Las pruebas de extracción realizadas en el CIMAV se complementaron con experimentación en el Instituto de Metalurgia de la UASLP.

Planta Piloto: Se ha adquirido un molino para instalar en el SGM, en su Unidad localizada en la Ciudad de Chihuahua. Adicionalmente se está construyendo un horno de lecho fluidizado por parte del CIATEQ en Querétaro, el cual será trasladado e instalado en el SGM para realizar la validación de la tecnología desarrollada a



escala piloto. La capacidad de diseño para la planta piloto es el procesamiento de cinco toneladas por día de mineral.

Este proyecto y los avances que se tienen, representan un paso significativo hacia el aprovechamiento eficiente de los recursos de litio en México, contribuyendo al desarrollo sostenible y la independencia tecnológica del país.

2. Sede del Comité Ejecutivo del Programa Nacional de Pronaces Agua

Introducción:

El Pronace Agua contribuye a la formación de colectivos de investigación e incidencia que diseñen y gestionen soluciones de fondo y a escala nacional para los más graves problemas del ciclo socio natural del agua.

Se trata de un objetivo de enorme complejidad que apunta a dos tareas principales:

1) desarrollar un modelo de colaboración sustantiva entre organizaciones de base comunitaria, la comunidad científica, autoridades de todos los órdenes de gobierno y, en su caso, empresas privadas, para que generen conocimiento y orienten el sentido de la política pública del Estado mexicano hacia el bien común y la justicia ambiental, y 2) articular tres dimensiones esenciales para la producción de soluciones justas: sujetos sociales maduros, un sistema instrumental basado en conocimiento científico de frontera y saberes populares, y un conjunto de prácticas e instituciones éticas, políticas, económicas, sociales y ecológicas que garanticen la eficacia, coherencia y perdurabilidad de las soluciones propuestas.

Resumen de resultados:



Desde el Comité Ejecutivo del Pronaces Agua, se ha colaborado con otros PRONACES e instituciones como;

- PRONACES Agentes tóxicos y procesos contaminantes; En la definición y restauración de las Regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental (RESA).
- Secretaría de Salud; Se elaboró la versión final de las recomendaciones del 1er Informe Estratégico “Cuenca del Río Atoyac (RESA): problemática socio-ambiental y recomendaciones para su atención integral”.
- Adicionalmente, se realizaron diversas presentaciones del libro “Problemas del agua en México. ¿Cómo abordarlos?”. Este libro se enfoca en temas relacionados con la dinámica social, política y económica de nuestro país: inequidad e inseguridad en la distribución del líquido, pasividad (y cautividad) de los sujetos sociales, prioridad a los jugosos contratos de concesión, falta de atención y despojo del recurso a las pequeñas comunidades, agotamiento de las cuencas naturales y sobreexplotación de las aguas profundas, así como una demanda creciente sin planes específicos para satisfacerla debidamente y sin incurrir en los desequilibrios e injusticias del pasado y del presente.
- Además, se llevaron a cabo una serie de encuentros con las Organizaciones de Base Comunitaria (OBC) que colaboran en los Pronaii Agua, para un abordaje transdisciplinar de las problemáticas relacionadas con el agua, llevando a cabo visitas de campo en estados como Jalisco, Nayarit, Guerrero, Tlaxcala, San Luis Potosí, Tabasco y Oaxaca.
- También se implementó la plataforma unificada de información sobre agua y cuencas. Y el PRONACES Agua acompañó al proyecto “Sistema de Información Unificado sobre Cuencas y Agua en México” (SIUCAM).



- Por otro lado, el CIMAV edita y participa en la publicación electrónica mensual del Programa Nacional Estratégico del Agua (Pronaces Agua) “La Noria Digital”, que puede ser consultada a través de la siguiente dirección electrónica; <https://cimav.edu.mx/lanoriadigital/>. Cabe mencionar que el último número publicado oficialmente, fue el de septiembre del 2024.

3. PARTICIPACIÓN EN OTROS PRONACES

Como parte de la estrategia para fortalecer el desarrollo de la ciencia y la tecnología aplicada en la solución de problemáticas sociales y nacionales prioritarias, CIMAV participa también en los siguientes proyectos PRONACES:

- **Transición Energética en Campeche:** Somos corresponsables en el diseño y dimensionamiento de secadores solares para optimizar el procesamiento de productos marinos.
- **Soberanía Alimentaria en Mérida:** Contribuimos al desarrollo de secadores solares para la deshidratación de diversos productos marinos, como algas, vísceras y pulpo.
- **Estrategia Transdisciplinaria para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos:** Participamos en la implementación de esta estrategia aplicada en seis ciudades mexicanas, abordando la problemática de los residuos desde un enfoque integral y sostenible.

4. Proyecto: Desarrollo de un sensor inteligente para la detección de arsénico en agua de consumo humano (Derivado de *iSensMEX*)



Introducción;

En México, se estima que alrededor de 14 millones de personas consumen agua con niveles de arsénico superiores a los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo que representa un riesgo significativo para la salud pública. El arsénico en el agua de consumo humano es un problema extendido en diversas regiones del país, especialmente en comunidades rurales y zonas marginadas donde el acceso a sistemas de purificación es limitado. La exposición prolongada al arsénico puede causar problemas graves de salud, como cáncer de piel, enfermedades cardiovasculares, diabetes y daños neurológicos, afectando de forma crónica a personas de todas las edades.

La situación actual se agrava por la falta de herramientas de detección accesibles y rápidas. Las pruebas convencionales para monitorear el arsénico en agua son costosas y requieren de laboratorios especializados, lo cual dificulta su implementación en zonas remotas. Como resultado, gran parte de la población afectada permanece en riesgo sin un conocimiento preciso de la calidad del agua que consume.

Desarrollar un sensor inteligente para la detección de arsénico en agua de consumo humano es una respuesta innovadora y necesaria para abordar esta problemática. Este dispositivo permitiría una identificación rápida y precisa de niveles tóxicos de arsénico, facilitando su uso en comunidades vulnerables y brindando a las autoridades de salud una herramienta eficaz para implementar medidas correctivas y preventivas. La creación de este sensor no solo ayudaría a reducir los riesgos de



salud asociados, sino que también representaría un avance hacia el derecho al acceso a agua potable segura, mejorando la calidad de vida de millones de personas y contribuyendo a una gestión más efectiva de los recursos hídricos en México

Objetivo del proyecto;

Desarrollo de sistemas de monitoreo continuo de arsénico en pozos de abastecimiento de agua potable, con posibilidades de uso en zonas no urbanas.

Resultados;

Se desarrolló un transductor que permite detectar arsénico de manera electroquímica en un rango de 5 a 50 ppb. Es necesario continuar con la miniaturización de la electrónica, para consolidar la portabilidad del dispositivo y poder tener un modelo que pueda ser utilizado en zonas remotas de una manera confiable y manejo simple. Se trabaja también en la determinación de la vida útil del transductor.

5. Proyecto: Conservación de humedales RAMSAR del norte de México: hacia la sustentabilidad socio-hídrica.

Introducción:

Este proyecto se enfoca en la conservación y desarrollo de los humedales Ramsar de regiones áridas y semiáridas del norte de México.

Objetivo.



Establecer prácticas sustentables para las comunidades que habitan en estas regiones, con el fin de utilizar los ecosistemas de humedales de manera productiva y a largo plazo, sin comprometer los servicios ambientales que estos brindan.

Los humedales Ramsar Laguna de Santiaguillo y Cañón de Fernández, localizados en el Estado de Durango, son sistemas socio-ecológicos donde las actividades humanas (ganadería, agricultura, industria, turismo), se interrelacionan con sus ecosistemas. La Laguna de Santiaguillo tiene gran importancia económica y socioambiental por las actividades productivas que se realizan en la cuenca y por la diversidad cultural que alberga. El Cañón de Fernández es considerado la principal fuente de abastecimiento de agua para la Comarca Lagunera.

Resumen de resultados

- **Inventario de la flora, vegetación acuática y subacuática.**
- **Laguna de Santiaguillo.** El inventario comprende 24 géneros y 33 especies. Se registraron 62 especies de plantas tolerantes. La *Nymphaea gracilis*, especie endémica de México, se encuentra enlistada en la NOM-059 con la categoría de Amenazada.
- **Cañón de Fernández.** El inventario comprende 19 géneros y 23 especies. Se registraron 68 especies de plantas tolerantes. No se encontraron especies enlistadas en la NOM-059 con categoría de riesgo.
- **Estudio de la calidad del agua.**



Se midieron metales, parámetros fisicoquímicos y biológicos. De acuerdo a los indicadores de la calidad del agua de la Conagua, para el estudio se consideraron los parámetros de DBO5, DQO y coliformes fecales.

Laguna de Santiaguillo. El muestreo de agua fue de 15 puntos, 11 en la laguna y alrededores, 3 de pozo, y uno de un biofiltro. Tres de los puntos muestreados indican que se encuentran en la escala de agua contaminada. Dos de estos puntos están cercanos a poblaciones y el tercero es del biofiltro, instalado en un brazo que desemboca en la laguna.

Cañón de Fernández. El muestreo de agua fue de 20 puntos. Las concentraciones indican que todos los puntos muestreados en el río Nazas en su tramo por el Cañón de Fernández están en la escala de excelente, buena calidad y aceptable.

- **Impartición de talleres.**

Se llevaron a cabo dos talleres multisectoriales, uno para cada humedal, con actores clave: representantes de ejidos y de asociaciones locales (menonitas), ONGs, instituciones gubernamentales de los 3 niveles y académicas, y empresarios.

El objetivo de los talleres ha sido dar a conocer los resultados del proyecto y profundizar en las relaciones entre el humedal y los sectores presentes. Durante su desarrollo los talleres han permitido ser un foro de análisis y reflexión con presencia de todos los sectores que toman parte de las



decisiones relacionadas con cada humedal, incluyendo los que son dependientes del mismo por tener actividad económica asociada a la existencia del humedal.

A partir de estos talleres, se concluyó que el Programa de Manejo del Parque Estatal Cañón de Fernández (SRNMA, 2017) y el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Territorio de la Cuenca Santiaguillo (SRNMA, 2016), no tienen un impacto real actual de acuerdo a la percepción y conocimiento de la mayoría de los sectores participantes. Y aunque se realizan actividades y regulaciones contenidas en dichos documentos, éstas no tienen un claro vínculo entre ellas. Esto representa un área de oportunidad de impacto social para la siguiente etapa del proyecto. Con la información generada durante la primera etapa se cuenta ya con las bases para establecer un documento consensado, con prácticas sustentables que permitan utilizar los ecosistemas de humedales de manera productiva y a largo plazo

6. Proyecto: Transición hacia una economía circular del agua (ECA) implementando tecnologías innovadoras-sostenibles en el saneamiento de aguas residuales para reciclado en procesos industriales en el noroeste de México.

Introducción:

Este proyecto busca impulsar un modelo de transformación en la relación entre industrias y plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) en el noroeste de



México. Dentro de los objetivos, destaca el de fortalecer la seguridad hídrica en el área de intervención, así como fomentar la sensibilización sobre la importancia del recurso hídrico, su reciclaje, conservación y ahorro, en los diferentes sectores de la sociedad mediante un modelo participativo que integre sectores de organismos operadores del agua, la industria y la sociedad en general; incorporando a actores étnicos y/o vulnerables del área de intervención.

También como parte de los objetivos está el evaluar la capacidad de germinación y de propagación de especies de plantas ornamentales bajo riego con aguas residuales tratadas y agua gris. Las plantas seleccionadas son aptas a cultivarse en humedales contruidos para el pulimiento de agua residual tratada (ART). También es importante sensibilizar y capacitar a miembros de sectores vulnerables de la región (comunidad Rarámuri) sobre el reúso de agua residual tratada y de agua gris, en el cultivo de plantas ornamentales y de hortalizas, a través de talleres de ciencia ciudadana.

Resumen de resultados:

Como parte esencial del proyecto se realizó el diagnóstico general de operación de las plantas PTARs Municipales con influencia industrial, el cual se elaboró conforme a la NOM-001-Semarnat-2021 y conforme a las Condiciones Particulares de Descarga (CPDs), por medio de la empresa especializada, AYMA Ingeniería y Consultoría S.A. de C.V.

El alcance y actividades consideradas en el análisis del diagnóstico general de operación de cada una de las PTARs, cubrió los siguientes puntos:



1. Recopilación de la información documental general
2. Descripción detallada y diagramas de flujo del tren de tratamiento actual de agua y lodos.
3. Evaluación del caudal y calidad de agua residual cruda y tratada.
4. Evaluación general de las unidades de Proceso y de Obra Civil.
5. Elaboración del diagrama simplificado de tuberías.
6. Inventario y evaluación del equipamiento electromecánico y de proceso.
7. Evaluación de la eficiencia de proceso acorde a los parámetros de diseño y normatividad aplicable vigente.
8. Recomendaciones para la mejora de los procesos de tratamiento

Las plantas estudiadas fueron la PTAR Cd. Juárez, PTAR Chihuahua Norte y PTAR Delicias Poniente. Para cada planta se emitieron recomendaciones de mejora. En el caso de la PTAR Chihuahua Norte se realizó la integración de un sistema de “Monitoreo en tiempo real-telemetría” de indicadores críticos de calidad en afluente/efluente.

Por el momento, las mediciones de las sondas del monitoreo en línea están en proceso de ajustes, y una vez estabilizadas las lecturas, los valores medidos en línea con las sondas, se contrastaron con las mediciones en campo y en laboratorio.

El ajuste completo de las sondas, es decir, lograr que los valores medidos en línea sean lo más similares a los valores obtenidos en campo y en laboratorio, llevará un periodo de varios meses. Esta capacidad de monitoreo de parámetros en tiempo real permitirá evitar paro de la planta por descontrol en la operación de la planta al salirse dentro de los parámetros de operación.



Germinación/propagación de plantas ornamentales irrigadas con aguas residuales y un mayor % germinación con agua residual tratada y propagación adecuada en maceta ↓ Posterior trasplante en humedales construidos para pulir el ART.

Del análisis y síntesis de los resultados de las 6 mesas multisectoriales, en torno al tema “Adaptación de tecnologías para obtener agua residual tratada (ART) con calidad ante los lineamientos de normatividad vigente y su reúso en procesos industriales y construcción”, se concluye que es importante generar la vinculación y gobernanza con los 5 sectores (Gobierno (3 niveles), Academia, Industria, Comunidad / Social y agrícola) y la articulación entre los sectores para logros eficaces en el desarrollo de proyectos relacionados al reciclaje de ART. Asimismo, gestionar y mejorar los procesos de tratamiento del agua residual tratada (osmosis inversa, tratamiento terciario, nanofiltración, filtros arenosos, etc.); incrementar el uso de la línea morada de distribución de ART; establecer una Economía Circular del Agua (ECA) sustentable (económica y ambiental) dentro de la industria e involucrar su mejora continua y; disposición y ejecución de políticas públicas para el cuidado integral del agua. Con lo anterior, se pretende lograr beneficios a mediano y largo plazo, obteniendo un significativo ahorro del recurso hídrico.

7. Desarrollo de un sistema portátil para el monitoreo rápido de creatinina en pacientes con enfermedad renal (Derivado de *iSensMex*)

Introducción:



En México, la enfermedad renal es un problema de salud pública alarmante, que afecta a aproximadamente 15 millones de personas. Este creciente número de casos representa una carga significativa tanto para los pacientes como para el sistema de salud pública, ya que el costo de tratamiento para la enfermedad renal crónica (ERC) consume una gran parte del presupuesto del sector salud. Se estima que los gastos asociados, principalmente por diálisis y otros tratamientos, representan uno de los mayores rubros en el gasto social del gobierno, limitando recursos para otras áreas críticas de atención.

Las principales causas de la enfermedad renal en México incluyen la diabetes, la hipertensión y las enfermedades cardiovasculares, condiciones prevalentes en la población que aceleran el deterioro de la función renal. Para los pacientes, vivir con ERC implica enfrentarse a una serie de dificultades, desde constantes visitas al hospital hasta restricciones en su estilo de vida. La detección temprana y el monitoreo de los niveles de creatinina, un indicador clave de la función renal, son fundamentales para la prevención de complicaciones graves y para la toma de decisiones en el tratamiento. Sin embargo, los métodos de monitoreo actuales suelen ser costosos y de difícil acceso para muchas personas, especialmente en zonas rurales o de bajos recursos.

Desarrollar un sistema portátil para el monitoreo rápido de creatinina puede transformar la manera en que se maneja esta condición, permitiendo una supervisión más cercana y accesible para los pacientes, reduciendo costos y mejorando su calidad de vida. Este sistema ayudaría a las autoridades de salud a enfocar mejor sus recursos, disminuyendo la carga económica y social que esta enfermedad representa para el país.



Objetivo del proyecto

Desarrollo de sistemas de monitoreo enfocados en la detección de creatinina como método preventivo para pacientes en riesgo de padecer ERC.

Resumen de resultados:

Detección de creatinina utilizando partículas bimetálicas de Cu-Au, registrando resultados en rangos clínicos relevantes con muestras controladas.

Se ha realizado la miniaturización del sistema de transducción electroquímico, que abre la posibilidad no sólo de usar una cantidad mínima de muestra, sino de tener el volumen necesario para realizar un pre-procesamiento de la misma, para minimizar interferencias.

Se espera contar con un modelo funcional para ensayo pre-clínicos para 2025.

8. Proyecto: Sistema de Desinfección Fotocatalítica de Aire Impreso en 3D para su Potencial Aplicación en el Sector Salud.

Introducción:

El aire en espacios cerrados eleva la concentración de virus, bacterias y otros microorganismos patógenos. Los sistemas de aire usan FILTROS. A la larga concentran la carga de virus, bacterias y otros microorganismos sin eliminarlos. Lo cual aumenta el riesgo de contraer infecciones respiratorias (influenza, SARS-CoV2, neumonía, etc.). Se requiere una tecnología que permita mantener libre de



patógenos espacios cerrados con poca ventilación o que tengan una elevada concentración de personas.

Resumen de resultados

Sistema de desinfección desarrollado en el CIMAV

El sistema CIMAV no pretende sustituir ni competir con dispositivos como el FILTRO HEPA. Su alcance es diferente ya que no se trata de un filtro. Es un andamiaje tridimensional periódico, ligero, robusto (fotocatalizador con módulo tensil 2.8 GPa, Izod 25 J/m, calor deflexión de 230°C) que produce un volumen fotoactivo por la interacción del fotocatalizador y la radiación de la lámpara interna del dispositivo. Es decir que este sistema permite la entrada de aire al interior y allí se eliminan microorganismos, de tal manera que el aire que sale está libre de dichos microorganismos, permitiendo la purificación del aire en espacios cerrados. Se cuenta con el registro de solicitud de patente MX/a/2024/002195.

El dispositivo es ligero y resistente diseñado para desinfectar aire en interiores (salas de espera y consultorios del sistema de salud pública, asilos, escuelas, museos, oficinas, transporte público, etc.,). Es una tecnología propia (Independencia tecnológica) sobre fotocatálisis heterogénea volumétrica. Genera un volumen fotoactivo que produce estrés oxidativo a los agentes infecciosos para la desinfección y purificación de aire en interiores mediante fotocatálisis.

Pruebas realizadas con y sin el sistema fotocatalítico tridimensional en un ambiente real (consultorio dental) en donde abundan los aerosoles con carga de microorganismos validaron la eficiencia del dispositivo ya que mostraron que se elimina el 93% Bacterias y 85% Hongos suspendidos en el aire.



El elemento activo utilizado no es tóxico y es un material de bajo costo. El sistema fotocatalítico tridimensional es de fácil y rápida producción, se adapta a diversos tamaños, configuraciones, y se puede reactivar químicamente para ser reutilizado.

Estado del desarrollo:

El Sistema de Desinfección Fotocatalítica empleando estructuras tridimensionales periódicas está protegido por la solicitud de patente MX/a/2024/002195. El grupo de trabajo tiene experiencia en el desarrollo de fotocatalizadores en 3D. Cuenta con solicitudes de patente sobre pastas de TiO_2 (MX/a/2023/006831) y pastas de ZnO (MX-a-2023-013819). En México no existen sistemas de purificación equivalentes. La fabricación del dispositivo y su distribución en hospitales y áreas que se relacionan con grandes concentraciones de personas, como salas de esperas, cines, restaurante y otros sitios concurridos es pertinente y puede reducir el costo de mantener saludable a un gran sector de la población. El proyecto impulsa la independencia tecnológica del Estado Mexicano, coadyuvando a la soberanía tecnológica del País.

9. Proyecto: Desarrollo de una herramienta de análisis de incendios en sitios de disposición final (SDF) en el Estado de Chihuahua: Revisión de imágenes satelitales y bibliografía disponible.

Introducción:



El impacto ambiental de los SDF en cuanto a incendios afecta infraestructura y medio ambiente. El objetivo de este proyecto es encontrar un método para determinar las características/cantidad de los incendios en SDF en el estado de Chihuahua, con el fin de generar un sistema de control fiable que permita desarrollar indicadores y estrategias en un futuro para mejorar la gestión de residuos sólidos y minimizar los riesgos ambientales y sociales.

Resumen de resultados

Se realizó trabajo en campo con visitas presenciales a 32 municipios y evaluación de 78 SDF en el estado de Chihuahua. Las acciones clave realizadas fueron la comunicación efectiva con autoridades locales, el fortalecimiento de relaciones y acuerdos para una colaboración futura en el corto plazo. Se realizó la recolección de datos y evidencia gráfica, para posteriormente llevar a cabo la evaluación exhaustiva y verificación de la información.

Base de datos y validación de incendios.

Se recopiló información (1980-2024), 1,165 notas y documentos (44 años), con enfoque en aspectos sociales, técnicos y políticos. El análisis preliminar permitió identificar la existencia de ambigüedad y sesgos en datos, mitigados por diversidad de fuentes. Fue también notable la poca representación de pequeños municipios y escasez de datos históricos. Otra situación frecuente fue la exageración en reportes y falta de datos técnicos sólidos.



FIRMS 311 (Fire Information for Resource Management System) es un sistema desarrollado por la NASA para el monitoreo y detección de incendios en tiempo casi real, utilizando datos satelitales. Se realizó el contraste de la información colectada de Incendios con la base de datos de FIRMS 311. Se identificaron limitaciones del sistema FIRMS: Detección limitada en incendios pequeños, subterráneos o breves. Interferencias atmosféricas y físicas (nubes, estructuras).

El Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF) de México, está principalmente diseñado para el monitoreo y análisis de incendios forestales, pudiendo aportar en la detección de incendios en sitios de disposición final. Esto se debe a que el SNIF utiliza datos y herramientas similares a las de FIRMS, como imágenes satelitales, para identificar áreas de calor y eventos de combustión en todo el territorio nacional. Se realizó un contraste con este sistema considerando 5,333 registros de incendios.

10. Proyecto: Impacto de nanopartículas metálicas en suelos fértiles: Para la sustentabilidad alimentaria.

Introducción:

Nuestras investigaciones se centran en comprender: i) el efecto tóxico de las nanopartículas (NP) sobre los microbiomas de suelos agrícolas y ii) su influencia en el desarrollo de plantas de interés productivo. Este tema es de gran relevancia en el área de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes, así como, con la Soberanía Alimentaria.



Los hallazgos de este proyecto se enmarcan tanto en la ciencia básica como en la ciencia de frontera, al contribuir con nuevo conocimiento sobre el uso seguro de nanomateriales con fines agrícolas. El impacto de las NP en los microbiomas del suelo agrícola puede ser positivo o negativo, dependiendo de múltiples factores, como las propiedades intrínsecas de las NP y las condiciones específicas del suelo. Entre los efectos positivos más destacados, se encuentra que el uso adecuado de las NP como micronutrientes puede reducir la dependencia de productos químicos tradicionales utilizados en la agricultura, los cuales generan contaminación, como la eutrofización, ayudando a minimizar el impacto ambiental.

Por ejemplo, los estudios de nanotoxicidad realizados con NP de CuO, ZnO y ZnO₂ han demostrado que concentraciones menores a 100 mg/kg de suelo no alteran significativamente la diversidad y las capacidades metabólicas del microbioma del suelo. Esto sugiere que estas NP podrían emplearse como micronutrientes (Cu, Zn) en suelos agrícolas deficientes en estos minerales, lo cual abre la posibilidad de desarrollar nanofertilizantes para cultivos de alto valor, como manzana, nuez, alfalfa, frijol, entre otros.

Los productos obtenidos en el marco del proyecto han sido publicados en revistas científicas con un factor de impacto superior a 2.8, lo que constituye una plataforma destacada para dar visibilidad a nuestra labor académica y de investigación. Asimismo, hemos presentado nuestros estudios en diversos foros de divulgación científica, como congresos nacionales e internacionales, lo que nos ha permitido llegar a una audiencia más amplia y diversa.

Resumen de resultados y potencial:



El potencial de esta línea de investigación es amplio, especialmente en el desarrollo de tecnologías que promuevan la sostenibilidad agrícola y la mitigación del impacto ambiental. Al entender los efectos de las NP en los microorganismos del suelo y su interacción con plantas de interés productivo, se abre la puerta a innovaciones tecnológicas en diversas áreas, tales como:

- a.** Fertilización “inteligente”: El uso controlado de NP metálicas como micronutrientes (Cu, Mg, Zn, Fe, Se, etc) puede mejorar la eficiencia de los fertilizantes, reduciendo la cantidad de insumos químicos tradicionales que generan contaminación. Esto impulsaría el desarrollo de tecnologías de fertilización de precisión, que maximicen la absorción de nutrientes por las plantas mientras minimizan los efectos negativos sobre el ecosistema.

- b.** Desarrollo de productos agrícolas sostenibles: Al comprender mejor el impacto de las NP en el suelo y en los microorganismos benéficos, se pueden desarrollar productos basados en NP que no solo promuevan el crecimiento vegetal, sino que también mejoren la salud del suelo. Esto sería crucial para la agricultura sostenible, ya que permitiría mantener la productividad a largo plazo sin comprometer el medio ambiente.

- c.** Nanotecnología aplicada a la protección de cultivos: Investigaciones como esta pueden dar lugar a tecnologías que protejan las plantas de enfermedades o plagas sin el uso de pesticidas convencionales, que suelen tener efectos secundarios indeseados (i.e resistencia antimicrobiana). La aplicación de NP con propiedades



antimicrobianas o antifúngicas podría ofrecer una alternativa más ecológica, eficiente y segura.

d. Remediación ambiental: Este conocimiento puede ser aprovechado para diseñar soluciones que utilicen NP en la restauración de suelos degradados o contaminados, aprovechando las interacciones entre las NP y los microorganismos para mejorar la salud del suelo.

e. Optimización de recursos hídricos: Las NP podrían integrarse en tecnologías que mejoren la eficiencia en el uso del agua en la agricultura, lo que resulta especialmente valioso en regiones con estrés hídrico. Esto podría implicar la mejora de la retención de agua en suelos o el desarrollo de sistemas de irrigación más eficientes.

En resumen, esta línea de investigación tiene un alcance significativo en el avance del conocimiento científico, y además ofrece una plataforma ideal para el desarrollo de tecnologías que contribuyan a la agricultura sostenible, el manejo eficiente de recursos y la mitigación de los efectos ambientales adversos.

B. Actividades relevantes vinculadas con el desarrollo de la ciencia y la tecnología durante el 2024.

1. Se realizaron 17 acercamientos con la Industria para la posibilidad de una vinculación a través de los Fondos Estatales de Ciencia y Tecnología en la Convocatoria de Innovación y Emprendimiento del Estado de Chihuahua. Como parte de la misma convocatoria, se enviaron 11 propuestas de proyectos



académicos, en sus distintas modalidades, de las cuales se aprobaron 4 proyectos como líderes y tres más, en colaboración con la industria, a continuación se muestran los 7 proyectos aprobados.

#	Nombre del Proyecto	Responsable Técnico	Convocatoria	Monto de apoyo
1	Desarrollo de nuevos dispositivos basados en impresión 3D y nanomateriales para el diseño de metodologías analíticas destinadas al monitoreo de contaminantes emergentes en agua	Luz Leal Quezada	Ciencia de Frontera	\$ 499,996.32
2	Programa Módulos del Mundo de los Materiales	Sion Federico Olive Méndez	Desarrollo de Talento	\$ 500,000.00
3	Desarrollo del nanocomposito Selenio-quitosano-ácido salicílico y su evaluación para el control del patógeno de la raíz rosada en cultivo de cebolla	María Antonia Luna Velasco	Ciencia de Frontera	\$ 497,541.76
4	Plataforma de detección en sitio de pesticidas agrícolas a través de un sensor electroquímico de estado sólido nano-asistido	Lorena Álvarez Contreras	Ciencia de Frontera	\$ 500,000.00





5	Modificación de zeolita para curtir pieles	Trinidad Holguín	Innovación y Emprendimiento	\$ 150,316.00
6	Reciclado de PET	Sergio Flores	Innovación y Emprendimiento	\$ 241,380.00
7	Secado de pinturas con tecnología UV	Armando Zaragoza	Innovación y Emprendimiento	\$ 300,000.00

Finalmente, en materia de la atención de la **tercera estrategia prioritaria** del Objetivo Prioritario 1, ***"Promover los conocimientos, innovaciones y desarrollos tecnológicos, generados en el CIMAV, y sus beneficios para la sociedad"***, se reportan los siguientes resultados.

1. Durante el 2024, se tuvo un alcance de 56,383 personas en las actividades de divulgación realizadas.
2. Por otro lado, el alcance en las redes sociales del CIMAV, llegó a más de ciento ochenta mil personas, a través de todas las plataformas en que se tiene presencia (Facebook, Instagram, Youtube, entre otras).
3. Durante el 2024, se desarrollaron 715 actividades de divulgación, entre las que se cuentan las visitas virtuales y presenciales a los laboratorios, así como las acciones de retribución social, llevadas a cabo por los estudiantes.
4. Durante el 2024, se tuvieron 151 visitas a los laboratorios, 116 de ellas a los laboratorios de Chihuahua, 12 a los laboratorios de Monterrey y 2 más, a los de Durango. Las instituciones con más recurrencia fueron: la Universidad Tecnológica de Chihuahua Sur, la Universidad Tecnológica de Chihuahua y el



Instituto Tecnológico de Tláhuac, entre otras. El 66% de las visitas, se llevaron a cabo de manera presencial en las tres sedes del CIMAV.

5. Los Módulos “El Mundo de los Materiales” son un conjunto de proyectos de investigación-aplicación diseñados para fomentar las áreas STEM, en estudiantes de nivel medio superior. Durante el ciclo escolar 2023-2024, se contó con alrededor de 70 maestros capacitados en 3 módulos en 2024 Impacto en más de 1800 estudiantes y además de la entrega formal de los kits a CEPPEMS para distribución a maestros capacitados, y se lanzó la convocatoria para participar en la Feria de MWM en CIMAV.
6. Se llevó a cabo el 19° Verano de la Investigación Científica, que tiene como propósito el fomento del espíritu científico en estudiantes de ingenierías, por medio de experiencias en ciencia de materiales, energía y/o medio ambiente. Para esta edición, se contó con 123 postulaciones, 50 estudiantes aceptados y la participación de las 3 sedes del CIMAV. Asimismo, la participación de 21 instituciones participantes.

El 80% de los participantes dijeron estar interesados en estudiar una maestría y/o doctorado en el CIMAV y el 86.3 % de los participantes dijeron estar interesados en seguir colaborando con prácticas profesionales, servicio social, estadías o tesis. 5 semanas de duración

7. Clubes de Ciencia México (CdeCMx) es una asociación civil, que busca generar alto impacto tecnológico en nuestro país y ofrecer oportunidades educativas que permitan a los jóvenes de bachillerato y universidades desarrollarse en las áreas STEM. En el 2024, Chihuahua fue sede de 5 clubes, uno de los cuales se llevó a cabo en el Laboratorio de Nanotoxicología del CIMAV. En el CIMAV,



se realizó la ceremonia de inauguración y el evento "Science Café", donde los estudiantes pueden charlar con investigadores invitados y con los instructores de los clubes.

8. Durante el mes de febrero, se tuvo una nutrida participación en el V Desayuno Global de Mujeres en la Ciencia, organizado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, en el que destacó la participación de investigadores del CIMAV, particularmente la conferencia magistral de su Directora General.
9. Se desarrollaron una serie de webinarios temáticos, con el propósito de difundir entre la sociedad, las actividades que el CIMAV desarrolla. Estos estuvieron a cargo de personal científico y tecnológico.
10. Se llevaron a cabo las Jornadas de Transmisión del Conocimiento Científico. 14 kinders de la ciudad de Chihuahua, con impacto en más de 1250 niños.
11. Clausura de la primera generación de Ta TEWE Omero STEAM: ¡Las niñas SÍ pueden!, en las instalaciones del CIMAV. Este programa busca transformar la sociedad chihuahuense a través de la educación en STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas) desde una perspectiva femenina. En cada programa se incluyen al menos 25 estudiantes de nivel medio superior.
12. Se desarrolló el Seminario Virtual: "Proyectos Alternativos de Producción en el Sector de la Pesca y la Transversalidad con la Participación Comunitaria en Lerma Campeche"
13. El CIMAV fue invitado a participar en el evento "Las Jornadas PRONACES CONAHCYT 2019-2024", en el que se expusieron los principales resultados obtenidos mediante los proyectos desarrollados y aprobados en las



diferentes áreas con prácticas transdisciplinarias producidas en el marco de los Pronaces y sus Pronaii Conahcyt.

14. El Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) llevó a cabo una serie de actividades con motivo de los festejos de su 30 aniversario con una ceremonia que reunió a distinguidas personalidades del ámbito académico, gubernamental e industrial. Este evento destacó al CIMAV como un referente en la investigación científica, el desarrollo tecnológico en México y la formación de talento humano. Esta celebración incluyó actividades académicas, científicas, sociales, culturales y podcast.

4.3 Acciones para la atención del Objetivo Prioritario 2.

El segundo objetivo prioritario del Programa Institucional del CIMAV, tiene como propósito formar talento especializado en programas de posgrado, con nivel de excelencia en las áreas de competencia, capaces de generar conocimientos científicos y tecnológicos, y solucionar problemas en pro del bienestar de la población, con un enfoque alineado a la disminución de la dependencia tecnológica. Para su consecución, se identificaron 3 estrategias prioritarias, que son las siguientes:

- Mantener la pertinencia y vigencia de los programas de posgrado del CIMAV, para formar talentos especializados de excelencia, en los temas de competencia del Centro.
- Fomentar en los programas de posgrado del centro, el interés y capacidad para innovar y/o crear empresas de base tecnológica.



- Obtener la retroalimentación de los egresados de nuestros programas, con relación a su trayectoria laboral, a partir de la obtención de su título de maestría y/o doctorado.

Para abordar este objetivo prioritario, así como sus acciones prioritarias, se implementó un enfoque integral, que incluyó varias acciones, entre las que se pueden mencionar:

- Registro de todos los programas de posgrado del CIMAV, en el Sistema Nacional de Posgrado, y con ello mantener la competitividad institucional en términos de pertinencia, que aborden las necesidades actuales y futuras del campo de estudio.
- Se dio continuidad a los programas duales, que permiten ampliar la visión de los estudiantes en las disciplinas en que se desarrollan.
- Promover actividades de los estudiantes con los diferentes actores de la sociedad.
- Adicionalmente, se actualizan métodos de evaluación rigurosos a través de comités tutoriales, que permiten medir el progreso y desempeño de los estudiantes de manera clara y objetiva, y para esto se utiliza uno de los parámetros del bienestar, para su medición.
- Se evalúa y realiza los cambios pertinentes a los programas para considerar la aplicación de los conocimientos de frontera generados, en la atención de los problemas nacionales.



- Fomentar la formación continua y desarrollo profesional entre los egresados, buscando medir por un lado el nivel de satisfacción en los egresados, y por otro su grado de inserción en los sectores educativo, social y productivo.

Con este objetivo prioritario, se busca insertar en la sociedad, nuevos profesionales en ciencias, tecnologías e innovación, para el desarrollo social, de una manera sostenible, y aportando propuestas innovadoras que permitan coadyuvar al bienestar de la población.

Para todo lo anterior, y en materia de atención a la **primera estrategia prioritaria** del Objetivo prioritario 2, "***Mantener la pertinencia y vigencia de los programas de posgrado del CIMAV, para formar talentos especializados de excelencia, en los temas de competencia del Centro.***", se reportan los siguientes resultados:

1. A la fecha, el CIMAV cuenta con 5 programas de posgrado, mismos que se encuentran en la categoría 1, del Sistema Nacional de Posgrados.
2. Asimismo, desde su fundación, se han graduado más de 1000 estudiantes; 350 del doctorado en ciencia de materiales, 69 del doctorado en ciencia y tecnología ambiental y 9 del doctorado en nanotecnología. También 399 estudiantes de la maestría en ciencia de materiales y 188 de la maestría en ciencia y tecnología ambiental.
3. Durante el 2024 se contó con 190 estudiantes activos, de los cuales 122 se encuentran en Chihuahua, 44 en Monterrey y 24 en Durango.
4. Por otro lado, en 2024, se graduaron 34 estudiantes, 17 de maestría y 17 de doctorado.

5. El detalle de la información presentada anteriormente, se muestra en la siguiente tabla;

Sub-indicador	Total	Área de adscripción			Programas															
					MC		MCT		DC		DCT		DN							
					M	A	M	A	M	A	M	A	M	N						
					CH		MTY		DGO	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	
Matrícula (todos los activos)	190	122	44	24	26	27	18	8	39	30	19	19	0	4						
Total					53		26		69		38		4							
Graduados posgrado	34				12	11	13	7	3	3	3	3	1	0						
Total					13		4		10		6		1							

6. En términos de movilidad estudiantil, durante el primer semestre, 9 estudiantes realizaron estancias en instituciones como el Centro Universitario de Ciencias Exactas (UdG), Universidad Autónoma de Sinaloa y Universidad de las Islas Baleares.
7. Por otro lado, en materia de estudiantes en programas duales, durante el primer semestre, se contó con 6 estudiantes en dichos programas, en la Queen Mary University of London y Universidad de las Islas Baleares.



8. Durante el 2022, se contaba apenas con 22 tesis con temas de incidencia y para el 2024, creció a 52 tesis que atienden problemas nacionales. Esto representa un crecimiento del 10% del total en 2022 al 28% en el 2024. En la distribución por sede, 26 se encuentran en Chihuahua, 14 en Durango y 12 en la subsede Monterrey.
9. En las actividades de retribución social, se ha inducido a que los estudiantes enfoquen sus actividades en temas que permitan generar conciencia social de la importancia de atender los problemas regionales. Durante el 2024, se desarrollaron 87 actividades de retribución como artículos de divulgación, visitas externas, ferias de ciencia, cursos, infografías, contenido multimedia, entre otras. Tal como se señaló en la estrategia 3, del Objetivo Prioritario 1, en conjunto todas las actividades de divulgación, tuvieron un alcance de más de ocho mil personas y más de cien mil, en redes sociales.
10. Campaña de difusión de la Maestría en Ciencia de Materiales con Especialidad en Semiconductores ofertada por CIMAV en las redes sociales del CIMAV, conferencias de prensa y entrevistas en medios con alcance regional..
11. Emmanuel Cortes Roos, estudiante del cuarto semestre de la Maestría en Ciencias de Materiales del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), ha sido galardonado con el primer lugar en la sesión de póster del día 20 de agosto durante el 32º Congreso Internacional de Investigación de Materiales (IMRC - 2024), con innovador proyecto de materiales fotocatalíticos
12. Los alumnos de maestría, George Bless e Iván Vásquez, fueron reconocidos por haber obtenido el primer y segundo lugar respectivamente, en el Congreso Nacional de Estudiantes de Energías Renovables (CNEER 2024),



organizado por el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. George Bless fue reconocido por su proyecto titulado “Caracterización de un Sistema de Desescarche por Gas Caliente”, mientras que Iván Vásquez presentó el trabajo “Modelación y Experimentación para el Análisis del Comportamiento de un Colector Solar de Tubos Evacuados para Distintos Flujos Másicos e Irradiancias”.

13. Al término del 2024, se contaba con la participación de 6 estudiantes de movilidad estudiantil nacional e internacional. 4 de ellos en programas duales y 1 en universidad con convenio internacional.

Con el propósito de atender la **segunda estrategia prioritaria** “***Fomentar en los programas de posgrado del centro, el interés y capacidad para innovar y/o crear empresas de base tecnológica***”, se tienen los siguientes resultados:

1. Se continuó con la impartición de la materia de emprendimiento a estudiantes de los programas académicos de primer semestre de los programas de Maestría en Ciencia de Materiales y de Ciencia y Tecnología Ambiental.
2. Armando Daniel Blanco Jáquez, alumno de Doctorado en Ciencia y Tecnología Ambiental de CIMAV SubSede Durango atendió una capacitación presencial en china, en el Centro de Entrenamiento Global de Huawei Technologies Co., LTD, la cual es una compañía líder a nivel mundial en innovaciones tecnológicas en Inteligencia Artificial (IA) y en las Tecnologías de la Información y la comunicación (TIC). Dicha capacitación se llevó a cabo durante dos semanas, del 13 al 24 de mayo de 2024, en la





ciudad de Hangzhou, China, en el marco del Programa de desarrollo de talento IA 1000 del INFOTEC México . En la cual, se abordaron los avances más recientes relacionados a la teoría y práctica en el ámbito de la Inteligencia Artificial.

3. Se sostuvieron reuniones con el Centro de Entrenamiento en Alta Tecnología CENALTEC, para revisión de posibles temas de colaboración conjunta, que incluye capacitación en temas de emprendimiento e innovación. Como resultado de lo anterior, se firmó un convenio de capacitación cruzada.
5. Se participa activamente en 5 clústers regionales, que son los siguientes; Aeroespacial, Automotriz, Metalmecánica, Minero, Construcción.
6. Se cuenta con relación estrecha entre instancias gubernamentales de la región, entre las que se cuentan Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico, Instituto de Innovación y Competitividad, Promotora para el Desarrollo Económico, INADET-CENALTEC, SEMARNAT de Durango, SEDUE, y CUCAP, entre otras. En estas reuniones se busca involucrar al personal académico y estudiantes, en el desarrollo de actividades en temas de innovación.
7. También, se evalúan y adaptan constantemente los programas a las necesidades sociales y científicas de frontera, buscando la incidencia en la solución de problemas nacionales, para mantener la pertinencia y calidad de los programas.
8. Claudia Georgina Nava Dino, egresada del Doctorado en Ciencia de Materiales del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV),





fue reconocida como la Mujer STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) más destacada del noroeste de México por el subsistema de Universidades Tecnológicas y Politécnicas. Este reconocimiento resalta a mujeres que contribuyen significativamente en estas áreas.

Con el propósito de atender la **tercera estrategia prioritaria** ***"Obtener la retroalimentación de los egresados de nuestros programas, con relación a su trayectoria laboral, a partir de la obtención de su título de maestría y/o doctorado"***, se tienen los siguientes resultados:

1. La plataforma de egresados, representa una herramienta de interacción entre quienes formaron parte de las filas académicas de la institución. Su diseño, programación y puesta en marcha se diseñó durante el primer semestre del año. Se ha implementado que a través del Foro de la plataforma de egresados donde hay un espacio para realizar los trámites administrativos, el interesado deberá subir su encuesta debidamente llenada como requisito para entregarle los documentos: Kardex, diploma y acta de examen de grado.
2. En relación a los alumnos egresados del primer semestre del año en curso se obtuvo la siguiente información:

Tres graduados ingresaron a los programas de doctorado (2 en CIMAV, 1 en QMUL)

Un egresado se encuentra realizando una estancia Posdoctoral

Cuatro egresado son docentes en: UACH, UVM, UA-Oaxaca, UTECH

Uno está desarrollando actividades como empresario



Dos egresados están buscando oportunidades en el sector productivo.

3. Se realizó seguimiento a la participación del Centro en las estrategias de Chihuahua Futura, Poniente 2050 y Frente Norte. Esto permitió identificar empresas e instituciones que pueden ofrecer oportunidades laborales a nuestros egresados. Se iniciaron las conversaciones, para incluir en las bolsas de trabajo que manejan, a los egresados de los programas académicos del CIMAV.
4. Al finalizar su defensa de grado, se envía una encuesta de calidad que deben regresar junto con otros documentos.
5. Se solicita al ex alumno que se registre en el Portal de Egresados para dar continuidad a cualquier trámite relacionado con su trayecto académico y sus documentos de grado. Con esta acción se pretende mantener relación para formar parte de esta comunidad donde se promueven actividades de interés para nuestros egresados.
6. Por medio de la Sociedad de Alumnos también se mantiene comunicación con los egresados para diversas actividades como: Co-Asesores Externos, Evaluadores de Tesis, Sinodales en defensas de Grado



4.4 Acciones para la atención del Objetivo Prioritario 3.

El tercer objetivo prioritario del Programa Institucional del Centro de Investigación en Materiales Avanzados, 2022-2024, versa entorno a articular las innovaciones científico-tecnológicas con el sector industrial y demás actores de la sociedad para su transferencia eficiente y eficaz, para incidir en las problemáticas nacionales y promover el bienestar general de la población, se plantearon dos estrategias prioritarias que son:

- Incrementar la vinculación y concertar alianzas, con los diferentes actores de la sociedad para generar sinergias en pro de la atención de los problemas nacionales estratégicos.
- Establecer al menos un proyecto institucional multidisciplinario e interdepartamental que tenga como objetivo impulsar la transferencia de un desarrollo del CIMAV a los usuarios de la tecnología.

Lo anterior se trata de una serie de estrategias integrales que buscan interactuar con los entes sociales, para incidir en el bienestar general de la población, para ello, existen acciones clave que forman parte de este objetivo prioritario:

- Establecer mecanismos para involucrar a la ciudadanía en la definición de agendas de investigación y en la toma de decisiones sobre las temáticas científicas.



- Identificar y colaborar con organizaciones, ONG's y otros grupos de la sociedad, que tengan experiencia y conocimientos transferibles en las temáticas de interés del Centro, para desarrollar acuerdos de trabajo conjunto, que permitan aprovechar los recursos y capacidades de ambas partes, para llevar a cabo investigaciones con impacto.
- Vincular a las instituciones académicas con los sectores público y privado, a través de convenios y colaboraciones entre universidades, centros de investigación, entidades gubernamentales y empresas, para abordar problemáticas nacionales, a través de la transferencia del conocimiento y tecnología, desde el ámbito académico hacia la práctica, para generar soluciones más efectivas y aplicables.

Con este objetivo prioritario se busca articular a los actores de la sociedad, que fomenten la colaboración e interacción entre los actores que la conforman. Esta estrategia se basa en la idea de que el progreso científico y tecnológico es un esfuerzo colectivo que requiere la participación activa de la sociedad en su conjunto.

Para lo anterior, y con el propósito de dar cumplimiento a la **primera estrategia prioritaria**, ***"Incrementar la vinculación y concertar alianzas, con los diferentes actores de la sociedad para generar sinergias en pro de la atención de los problemas nacionales estratégicos"***, se reportan los siguientes resultados:

1. El Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV) y La Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI) firmaron un Convenio de Adhesión del CIMAV a la Red ECOs, con el objetivo de



fomentar el intercambio de conocimientos, al colaborar en proyectos conjuntos y formar recursos humanos altamente capacitados en áreas como el agua, la calidad de aire y semiconductores. La titular de la SECTEI, Ofelia Angulo Guerrero, destacó la experiencia que tiene el CIMAV en temas de medio ambiente y en específico en el tema de semiconductores, lo que contribuirá a atender proyectos de la Red ECOs de gran envergadura a nivel nacional.

2. El Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) y La Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) llevaron a cabo la Jornada de Fortalecimiento de la Investigación UACH-CIMAV los días 15 y 16 de abril con el objetivo de mostrar la colaboración institucional en investigación. Durante el evento, se realizaron conferencias, talleres, mesa panel y un networking, dichas actividades fortalecieron la colaboración entre docentes y estudiantes para promover la investigación y el desarrollo sostenible.
3. El día 24 de enero, se recibió la visita de representantes de Educación Superior del British Council. Acudieron el Mtro. Darren Coyle Director en México, British Council y Arturo Mendoza, Titular de Educación Superior, British Council a nuestra CIMAV SubSede Monterrey En su visita conocieron las capacidades del CIMAV y algunos laboratorios.
4. La Dra. Leticia M. Torres Guerra, Directora General del CIMAV, y el Dr. Pedro Martínez, acudieron a una visita al Grupo La Norteña, empresa líder de producción de manzana en México. En dicha visita, se exploraron nuevas oportunidades y fortalecimos lazos para el desarrollo de proyectos.



5. Durante el mes de febrero del 2024, el CIMAV y la Universidad Autónoma de Querétaro, firmaron un Convenio de Colaboración, por parte de la UAQ participó la Rectora Dra. Silvia Amaya Llano y por parte del CIMAV firmó la Dra. Leticia M. Torres Guerra, Directora General del CIMAV.
6. Durante el mes de abril, investigadores y directivos del CIMAV, visitaron el Instituto de Apoyo al Desarrollo Tecnológico (INADET), con el fin de estrechar lazos de colaboración y llevar a cabo acciones como la transferencia de conocimientos en alta tecnología para potencializar las fortalezas con las que cuentan ambas instituciones.
7. El pasado mes de mayo, se llevó a cabo en la Secretaría de Innovación y Desarrollo (SIDE), una importante jornada de trabajo que reunió a representantes de la Universidad de Dallas, directores de la SIDE y directivos del Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Este evento tuvo como objetivo central impulsar el desarrollo humano de alta especialización a través de una colaboración estrecha entre estas destacadas instituciones. Durante la jornada, se discutieron diversas estrategias para promover la innovación y educación continua en nuestra región. Los representantes de la Universidad de Dallas compartieron sus experiencias y conocimientos en educación y desarrollo tecnológico, mientras que el CIMAV presentó avances en investigación y desarrollo en áreas clave para la industria. La Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico destacó las oportunidades y desafíos que enfrenta nuestro entorno, subrayando la importancia de la cooperación entre dichos sectores.



8. El jueves 23 de mayo de 2024, el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) Subsede Monterrey recibió la visita de destacados representantes de diversas Empresas Globales. Esta importante reunión contó también con la presencia de autoridades de la Secretaría de Economía de Nuevo León. Durante la visita, los representantes de las empresas tuvieron la oportunidad de conocer en profundidad las capacidades y avances tecnológicos del CIMAV. Las autoridades del Centro destacaron los logros en investigación y desarrollo que han posicionado al CIMAV como un referente en el ámbito de los materiales avanzados. Además, se enfatizó la importancia de la colaboración entre el sector empresarial y el centro de investigación para fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico en la región. El recorrido incluyó una visita a algunos de los laboratorios de la subsede, donde los visitantes pudieron observar de primera mano los proyectos en curso y las tecnologías de vanguardia que se están desarrollando.
9. El Dr. Carlos Servando Chávez Tiznado, rector de la Universidad Tecnológica de la Tarahumara recibió a investigadores del Centro de Investigación en Materiales Avanzados CIMAV, quienes sostuvieron una reunión con docentes de la universidad, con el fin de platicar sobre proyectos futuros que se realizarán entre la institución y el CIMAV. Esto ocurrió durante el pasado mes de junio.
10. Como parte del proyecto "Chihuahua Charging Forward" en colaboración con el William Davidson Institute y la Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico Chihuahua, visitamos Ann Arbor y Detroit, Michigan con el objetivo de conocer las innovaciones en materia de electromovilidad, con la



visión de explorar oportunidades y detonar iniciativas en colaboración con los líderes de esa región. Ann Arbor SPARK Michigan's University Research Corridor (URC) MichAuto Michigan Central TechTown Detroit

La delegación fue formada por diferentes representantes de organizaciones chihuahuenses, academia, empresas y gobierno, permitiéndonos idear estrategias en conjunto. Desarrollo Económico del Estado de Chihuahua A.C. Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico Chihuahua Frente Norte Clúster Automotriz de Chihuahua Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. UACJ Universidad Autónoma de Chihuahua "Chihuahua Charging Forward" tiene como objetivo impulsar la transición de la industria de vehículos de motor de combustión interna hacia la industria de la electromovilidad, por medio del desarrollo de talento humano, integración de la cadena de valor de la electromovilidad e impulsos a emprendimientos de base tecnológica.

11. Se ofrecieron un total de 831 servicios a la industria, por un valor total de \$11,980,108.96. 632 servicios corresponden a la subsele Chihuahua, 181 a la subsele Monterrey y 18 a la subsele Durango.
12. Del total de 831 servicios, 428 corresponden a laboratorios acreditados, y representan un ingreso total por 4.8 millones de pesos.
13. En términos de formación continua, se impartieron 9 cursos, provenientes de sectores como automotriz, minero, servicios, energía, lácteos y electrónica. Por dichos cursos se captó un total de \$ 365,747.14 pesos, y con un alcance directo a 64 personas, cuyas nuevas habilidades, podrán ser utilizadas en la solución de problemáticas.



14. Se enviaron 76 cotizaciones para cursos, por un valor total de dos millones de pesos, de las cuales se espera tener resultados favorables en algunas de ellas, durante el segundo semestre del año.
15. Durante el primer semestre, se muestreó a las empresas para la aplicación de encuestas de satisfacción en la oferta de servicios, obteniendo una calificación de 96/100.
16. A la fecha de corte de este informe, se contaba con 6 laboratorios acreditados y un total de 47 métodos acreditados, siendo el más reciente de ellos, el de la rama Agua del Laboratorio de Medio Ambiente de la Subsede Durango.
17. El CIMAV, junto al Gobierno del Estado de Chihuahua, diseñaron y ejecutaron el Diplomado en Semiconductores, el cual se impartió de manera presencial en Chihuahua y en la Universidad de Texas en Dallas. El diplomado estuvo dirigido a egresados de las carreras en electrónica, materiales, física, química, eléctrica, electromecánica y afines, interesados en adquirir conocimientos y competencias en el área de semiconductores. Este programa de formación inició el 9 de septiembre y concluyó el 11 de octubre de 2024, constó de 60 horas (30 de teoría y 30 de práctica). Del 9 al 27 de septiembre la sede será el CIMAV, en la ciudad de Chihuahua; y del 7 al 11 de octubre se impartió la fase práctica en la Universidad de Texas Campus Dallas. Entre los temas que se abordaron, se encuentran: Introducción a la ciencia y tecnología de semiconductores; Dispositivos y procesos en la industria de semiconductores, Procesos de micro y nano fabricación y tecnologías emergentes. El cupo estuvo limitado a 16 personas.



18. Con el objetivo de impulsar el desarrollo y la innovación en la industria regional, el CIMAV organizó en el mes de octubre, un desayuno de trabajo dirigido a más de 50 empresarios y representantes de medianas empresas en Chihuahua. Durante el evento, el CIMAV presentó sus capacidades y experiencia como aliado estratégico para el crecimiento y la competitividad del sector empresarial. La Dra. Leticia M. Torres Guerra, Directora General del CIMAV, junto con su equipo directivo, dio la bienvenida a los asistentes y destacó la importancia de fortalecer los vínculos con la industria. “Es esencial que en esta región trabajemos unidos, ya que contamos con una gran capacidad en CIMAV para apoyar las necesidades de la industria. Podemos ofrecer respaldo mediante nuestro conocimiento en ciencia y tecnología y facilitar la comercialización de innovaciones,”. Estas iniciativas buscan reforzar la alianza entre todos los sectores. Por su parte, el Ing. Armando Gutiérrez de Canacintra subrayó la necesidad de fortalecer la industria regional y promover una vinculación estratégica con clusters y rutas sectoriales en el estado de Chihuahua, con el fin de potenciar el impacto de la industria local. Durante el encuentro, el CIMAV compartió casos de éxito regionales, sus expectativas y planes futuros para la articulación, reafirmando su compromiso de mantenerse a la vanguardia en el apoyo a la industria. Además, en el evento, el equipo de Desarrollo Económico del Estado de Chihuahua (DESEC) el Lic. Jorge Rodrigo Cruz Camberos, quien resaltó la importancia de fortalecer la formación de talento mediante alianzas intersectoriales. Este enfoque complementa el compromiso de CIMAV de contribuir al crecimiento del capital humano en el estado. Con iniciativas



como este desayuno de trabajo, el CIMAV reafirma su misión de apoyar a la industria en Chihuahua, proporcionando las herramientas y el conocimiento necesario para enfrentar los desafíos actuales y futuros mediante la ciencia y la innovación.

19. Se obtuvo la acreditación como Unidad de Inspección bajo la norma NMX-EC-17020-IMNC-2014 ISO/IEC 17020:2012. Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de unidades (organismos) que realizan la verificación (inspección), para la materia de Seguridad, higiene y medio ambiente de trabajo. El alcance para realizar las inspecciones es de conformidad con Materia de Inspección: Seguridad, higiene y medio ambiente de trabajo; Norma o Método: NOM-020-STPS-2011. Recipientes sujetos a presión. Fecha de acreditación: 2024/11/26; Tipo y Rango de la Inspección: Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas -Funcionamiento-Condiciones de seguridad.
20. CIMAV recibió la visita de representantes de la Dirección de Desarrollo Humano y Educación del Municipio de Chihuahua, así como de la Secretaría de Educación y Deporte del Gob. del Estado de Chihuahua. El objetivo de esta visita fue conocer en detalle las capacidades de los laboratorios y evaluar las oportunidades de acceso a dichas capacitaciones. Durante el recorrido, los representantes pudieron observar nuestras avanzadas instalaciones y el trabajo que realizamos en investigación y desarrollo.
21. En el mes de agosto, el CIMAV y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Chihuahua (ITESM), firmaron un convenio de colaboración con el objetivo de impulsar el desarrollo tecnológico, el



mejoramiento de las actividades culturales, el crecimiento personal y la investigación entre ambas instituciones

22. El CIMAV y el TECNOL-Cd. Juárez firmaron un convenio de colaboración con el fin de impulsar proyectos conjuntos en el área de materiales avanzados. En este marco, el Mtro. Mario Macario Ruiz Grijalva, Director del Instituto, acompañado de su equipo de trabajo, acudió al CIMAV para formalizar este acuerdo.
23. CIMAV firmó un convenio de colaboración con la Fundación Poniente 2050 durante su sesión ordinaria en Cuauhtémoc, Chihuahua. Este acuerdo establece las bases para llevar a cabo acciones conjuntas en los ámbitos académico, científico y de investigación, con beneficios para ambas partes y el desarrollo regional.
24. El pasado 20 de septiembre, el CIMAV Subsede Monterrey recibió la visita de representantes de la empresa VESSEL, reconocida por su liderazgo en turismo cultural y el desarrollo de campings y alojamientos innovadores. La comitiva de VESSEL estuvo encabezada por el Sr. Niu Chengzheng, Gerente General de Boda International Holding Group Ltd. México, quien estuvo acompañado por el Sr. He Shu en calidad de intérprete. Por parte del Gobierno de Nuevo León, se contó con la presencia de la Mtra. Ximena Horta y el Mtro. Sergio Casso, ambos de la Coordinación de Inversión Extranjera de la Secretaría de Economía del estado.
25. El Ingenio La Unión, empresa guatemalteca líder en el cultivo de caña de azúcar, y el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) han



formalizado una alianza estratégica mediante la firma de un convenio de colaboración conjunta para el desarrollo de proyectos innovadores.

26. El Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. estuvo presente en el E-Mobility Forum: Emerging Opportunities and Business Strategies'. Este evento, organizado por la Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico Chihuahua, William Davidson Institute y Frente Norte, dónde se destacaron las últimas tendencias y oportunidades en electromovilidad.
27. El CIMAV recibió a distinguidas personalidades del ámbito científico, tecnológico y empresarial, quienes participaron en una importante reunión de trabajo en las instalaciones del CIMAV. Encabezando el encuentro estuvieron el Dr. Feliú D. Sagols Troncoso, Titular Interino de la Unidad de Articulación Sectorial Regional, y el Dr. Pascual Ogarrio Rojas, Director de la Unidad de Articulación Sectorial y Regional de la próxima Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, junto con la Dra. Leticia M. Torres Guerra, Directora General del CIMAV, y su equipo directivo. En esta reunión se contó además con la presencia del Secretario de Innovación y Desarrollo Económico del Estado de Chihuahua, Ulises Alejandro Fernández Gamboa, y del Ing. Raúl Varela Tena, representante del Instituto de Innovación y Competitividad (I2C). A este diálogo se sumaron el Dr. Luis Carlos Hinojos, Director de Investigación y Posgrado de la UACH; Luis Ernesto López, Secretario Técnico del CODECH; y Leonel Chavira, Director General de Industria de Chihuahua. Este fructífero encuentro permitió fortalecer vínculos entre instituciones clave, abriendo la puerta a nuevas oportunidades de colaboración para el desarrollo científico y tecnológico de la región. El CIMAV



reafirma su compromiso como aliado estratégico para la innovación, trabajando de la mano con actores gubernamentales, académicos y empresariales en beneficio del estado de Chihuahua y el país.

Finalmente, para la **segunda estrategia prioritaria**, sobre ***"Establecer al menos un proyecto institucional multidisciplinario e interdepartamental que tenga como objetivo impulsar la transferencia de un desarrollo del CIMAV a los usuarios de la tecnología"***, se reportan los siguientes resultados:

Baterías sustentables de Zinc-aire basadas en nanomateriales no tóxicos/eco-amigables para tecnología flexible

Responsable Técnico: Dra. Lorena Álvarez Contreras

Introducción

En el marco de la creciente demanda de soluciones de almacenamiento energético sostenibles y de bajo impacto ambiental, el presente proyecto abordó de manera integral el desarrollo de baterías de zinc-aire (ZABs) recargables y flexibles, un enfoque que representa una alternativa viable y avanzada frente a las baterías de iones de litio (Li-ion). Esta iniciativa, fruto de la colaboración entre CIMAV, CIDETEQ y UAQ, no solo buscó optimizar las ZABs sino también reconfigurar su papel en aplicaciones portátiles y electrónicas flexibles. Como alternativa estratégica, las ZABs ofrecen ventajas distintivas: alta densidad energética, menor costo, superioridad en seguridad, y una construcción con materiales no tóxicos y abundantes. México se ubica como el sexto productor mundial de zinc, con reservas



de 15 millones de toneladas, lo que facilita su disponibilidad a largo plazo a precios competitivos. Con precios de mercado de hasta USD 70,000 por tonelada de litio, las ZABs representan una opción más accesible con un costo de zinc promedio de USD 3,500 por tonelada, y una densidad energética de hasta 1,350 Wh/kg, comparada con los 250-300 Wh/kg de las baterías de Li-ion convencionales. Estas características posicionan a las ZABs como una tecnología de alto impacto, especialmente en dispositivos vestibles y aplicaciones electrónicas de alta demanda energética.

Objetivos y Enfoque del Proyecto

Para el proyecto se plantearon metas fundamentadas en una visión de sostenibilidad, flexibilidad estructural y rendimiento energético optimizado. Sus objetivos clave incluyen:

- a. Optimización de ánodos de zinc para que sea más resistente y dure más tiempo, evitando los problemas comunes que limitan la vida útil de las ZABs.
- b. Desarrollo de electrodos de aire bifuncionales que puedan realizar reacciones químicas más eficientemente, utilizando materiales de bajo costo.
- c. Implementación de un electrolito polimérico de gel (GPE) que sea estable y flexible, ideal para las baterías que requieren adaptarse a dispositivos flexibles.
- d. Construir prototipos avanzados de ZABs en configuraciones simples y en serie, capaces de soportar deformaciones sin perder eficiencia.

Estos objetivos fueron alcanzados mediante un diseño integral y la optimización de cada componente de la batería, resultando en un sistema de almacenamiento energético seguro y altamente eficiente.



Principales Logros e Innovaciones Técnicas

1. Ánodos de Zinc Mejorados para Durabilidad y Rendimiento. La electrodeposición controlada de aleaciones de Zn-Mn sobre sustratos de carbono poroso flexible ha permitido mejorar la durabilidad de los ánodos de zinc. Este desarrollo no solo incrementa la resistencia a la corrosión, sino que también optimiza la eficiencia en los ciclos de carga y descarga, lo que se traduce en una vida útil prolongada para las baterías, especialmente en aplicaciones flexibles. Este enfoque ofrece una alternativa competitiva a las soluciones basadas en litio, al tiempo que aborda cuestiones de sostenibilidad.

2. Electrodo de Aire Bifuncional Basado en Hidróxidos Dobles Laminares (LDHs) soportados en nanomateriales base carbón. Se crearon electrodos que incorporan nanomateriales soportados en carbón, los cuales permiten un flujo de energía eficiente sin depender de metales preciosos. Estos electrodos son estables, duraderos y permiten hasta 1,000 ciclos sin degradación. Esta innovación reemplaza la necesidad de catalizadores a base de metales nobles, costosos y menos abundantes, logrando un alto rendimiento catalítico con materiales eco-amigables y de bajo costo. Los electrodos bifuncionales obtenidos mostraron una densidad de corriente mejorada, crucial para mantener el ciclo de carga-descarga en aplicaciones de alta demanda, ofreciendo una opción viable frente a las tecnologías convencionales.

3. Electrolitos de gel polimérico (GPE) con alta estabilidad y flexibilidad. Los GPEs desarrollados, basados en una mezcla de polímeros con dopantes para retención de KOH, lograron una alta conductividad iónica y una retención de agua superior, esenciales para aplicaciones de alta estabilidad. Este GPE supera las limitaciones de



electrolitos convencionales, asegurando durabilidad y resistencia en condiciones de deformación. Este electrolito especial, desarrollado para adaptarse a dispositivos flexibles, mantiene su conductividad y estabilidad incluso bajo condiciones de uso prolongado. Es una opción duradera y adaptable para distintas aplicaciones.

4. Prototipos Avanzados de ZABs Flexibles. Se evaluaron varios prototipos de ZABs que mantienen su rendimiento, aún bajo condiciones de flexión y torsión, cruciales para aplicaciones en dispositivos vestibles. Estos prototipos alcanzaron densidades energéticas comparables a las baterías de litio en aplicaciones convencionales, con la ventaja añadida de soportar esfuerzos mecánicos. Los resultados en flexión y torsión confirman la viabilidad de estas baterías para aplicaciones en dispositivos vestibles e “Internet de la Cosas” (IoT), donde las propiedades flexibles son fundamentales.

5. Impacto Científico, Proyección y Formación de Recursos Humanos

El proyecto ha posicionado a CIMAV como un referente global en tecnologías de almacenamiento energético sostenible. Con 19 publicaciones científicas indexadas, 15 presentaciones internacionales y una patente en proceso, se ha fortalecido la posición de CIMAV en el ámbito científico y tecnológico. Además, la formación de 13 licenciados, 4 maestros, 1 doctor y 3 posdoctorantes refleja el compromiso del proyecto con la generación de talento especializado en tecnologías avanzadas y sostenibles.

Este proyecto marca un avance decisivo hacia un futuro de soluciones energéticas más seguras, accesibles y ecológicas. La combinación de materiales no tóxicos, abundantes y de bajo costo junto con innovaciones en diseño flexible sitúan a las ZABs como una tecnología de vanguardia, capaz de responder a las demandas de



almacenamiento de alta densidad en aplicaciones de dispositivos vestibles y el IoT.

La trascendencia de este proyecto es doblemente significativa: en el ámbito científico y en el impacto estratégico de CIMAV, como institución líder en la transición hacia un almacenamiento energético seguro y ambientalmente responsable.

Por otro lado, en materia de desarrollo tecnológico, el CIMAV cuenta con un acumulado de 212 registros de patente ingresados en México y el extranjero, de los cuales se han otorgado 74 títulos en México y 15 en el extranjero y se tienen 70 títulos vigentes.





4.5 Desempeño administrativo y financiero del Centro, en el ejercicio fiscal 2024.

Se identifican los avances en materia de gestión presupuestaria para el CIMA, durante el periodo comprendido entre los meses de enero-diciembre del 2024, considerando una serie de indicadores y su comparación con el mismo periodo del 2023, para esta medición. El primero de ellos.

En la tabla siguiente tabla, se presentan los ingresos propios, autogenerados y totales;

CONCEPTO	DETALLE	2024	2023
Ingresos propios (Mdp)	Ingresos por servicios	\$24,905,220.58	\$24,016,500.57
	Ingresos por posgrado	\$148,000.00	\$206,100.00
	Ingresos por proyectos	\$1,714,826.06	\$1,195,990.98
	Otros ingresos	\$16,138,572.67	\$21,492,582.86
	Total de ingresos propios	\$42,906,619.31	\$46,911,174.41
Ingresos totales	Autogenerados	\$42,906,619.31	\$46,911,174.41
	Fiscales	\$235,717,949.87	\$226,887,246.27
	Total	\$278,624,569.18	\$273,798,420.68
Ingresos autogenerados	Fondos Conahcyt	\$32,021,200.10	\$21,262,010.37
	Propios	\$42,906,619.31	\$46,911,174.41
	Millones autogenerado total	\$74,927,819.41	\$68,173,184.78

Por otro lado, se presenta la información del presupuesto programado y captado en el 2024, así como su comparativa con el 2023;



CONCEPTO	DETALLE	2024	2023
PRESUPUESTO	Propios	\$26,492,056.00	\$42,263,086.00
	Fiscales	\$235,717,949.87	\$226,887,246.27
	Total	\$262,210,005.87	\$269,150,332.27
PRESUPUESTO CAPTADO	Propios	\$44,063,756.35	\$45,138,360.65
	Fiscales	\$235,717,949.87	\$226,887,246.27
	Total	\$279,781,706.22	\$272,025,606.92

Finalmente se presenta la comparación del presupuesto programado y ejercido, así como la comparación de estos conceptos, con el ejercicio fiscal inmediato anterior, para su mejor análisis;

CONCEPTO	DETALLE	2024	2023
PROGRAMADO	Servicios personales	\$192,910,359.56	\$185,023,653.89
	Materiales y suministros	\$11,792,272.88	\$14,611,367.68
	Servicios generales	\$53,669,684.43	\$63,786,288.70
	Subsidios	\$3,837,689.00	\$4,030,073.00
	bienes muebles, inmuebles	\$0.00	\$1,698,949.00
	Total	\$262,210,005.87	\$269,150,332.27
EJERCIDO	Servicios personales	\$192,738,584.12	\$184,015,653.89
	Materiales y suministros	\$11,093,278.45	\$9,893,925.20
	Servicios generales	\$51,019,277.08	\$51,829,689.73
	Subsidios	\$3,643,194.52	\$2,582,476.70
	bienes muebles, inmuebles	\$0.00	\$1,698,948.88
	Total	\$258,494,334.17	\$250,020,694.30





4.6 Registro de metas y parámetros del Programa Institucional.

El registro de metas y parámetros del bienestar es un sistema organizado que se estableció en el Programa Institucional, para seguir lo establecido tanto en los objetivos prioritarios como en sus respectivas estrategias prioritarias. Este registro permite medir y evaluar el progreso del Programa Institucional del CIMAV.

Las metas, por un lado, son objetivos específicos para alcanzar, con un enfoque en el bienestar social. Los parámetros por el otro son indicadores y métricas utilizadas para cuantificar el progreso hacia el logro de las metas.

A continuación, se presenta el registro de las metas y parámetros, establecidos para cada uno de los objetivos prioritarios, establecidos en el Programa Institucional del CIMAV.

En este registro, se da cuenta del nivel de cumplimiento que presenta cada meta y parámetro, al corte del 30 de junio del 2024, como un proceso de medición continua de los resultados institucionales de acuerdo con lo establecido en dicho Programa Institucional.



METAS Y PARÁMETROS DEL OBJETIVO PRIORITARIO 1:

INDICADOR		MÉTODO DE CÁLCULO	META 2024	RESULTADO 2024
Meta para el bienestar	1.1 Contribuir al bienestar de los diversos sectores de la población mediante la apropiación social del conocimiento	N° de personas atendidas por eventos realizados por CIMAV en el año t	8925	56,383
Parámetro 1	Mide la relación del número publicaciones con arbitraje y su relación con el número de Investigadores del centro	(N° publicaciones con arbitraje en el año t/ N° de Investigadoras e investigadores en el año t)	3.2	(163+46+9/50) 4.36
Parámetro 2	1.3 Número de proyectos académicos, científicos y tecnológicos, articulados con CPI e Instituciones de Educación Superior nacionales e internacionales.	(N° de proyectos de articulación con convenio en el año t) / (N° investigadoras e investigadores en el año t)	0.60	(32/50) 0.64





META Y PARÁMETROS DEL OBJETIVO PRIORITARIO 2.

INDICADOR		MÉTODO DE CÁLCULO	META 2024	RESULTADO 2024
Meta para el bienestar	2.1 Fomentar y promover que las tesis de los programas de formación de talentos especializados estén orientados tanto a la ciencia de frontera como a la aplicación de ésta en la incidencia para la atención de los problemas prioritarios nacionales	(N° de tesis con temas de ciencia de frontera orientadas a incidencia en el año t/ N° total de alumnos de maestría y doctorado) *100	11.4%	(52/222) 27.6
Parámetro 1	Mide el porcentaje de alumnos de maestría y doctorado graduados por generación en 2.5 y 5 años respectivamente	(N° alumnos de maestría y doctorado graduados en tiempo de cohorte/ N° total de alumnos de maestría y doctorado por cohorte) *100	69%	(43+35/123) 63%
Parámetro 2	Mide el porcentaje de actividades de retribución social desarrolladas por los estudiantes de posgrado	(N° de actividades de retribución social en el año t/ N° de estudiantes de posgrado en el año t)	2.00	(393/190) 2.07





META Y PARÁMETROS DEL OBJETIVO PRIORITARIO 3

INDICADOR		MÉTODO DE CÁLCULO	META 2024	RESULTADO 2024
Meta para el bienestar	Mide la relación del número de servicios y proyectos realizados por número de personal científico-tecnológico	(N° de servicios y proyectos realizados en el año t /N° de personal científico-tecnológico en el año t)	12.0	(1724+32)/ 147 11.7
Parámetro 1	Mide el número de desarrollos científicos-tecnológicos que presentaron incremento de TRL respecto al número total de desarrollos científicos-tecnológicos documentados	(N° de desarrollos científicos-tecnológicos que presentaron incremento de TRL en el año t/ N° total de desarrollos científicos-tecnológicos documentados en el año t) *100	8.8	(3/40) 10.3





Parámetro 2	Mide el porcentaje de ingresos propios generado por servicios-proyectos respecto al total del presupuesto fiscal	(Ingresos propios generados por servicios-proyectos en el año t/Presupuesto fiscal total en el año t) *100	16.25	$(26'620,046,64 / 236'288,702,36) * 100$ 24.8
-------------	--	--	-------	---





5. CIMAV: ALIADO ESTRATÉGICO DE SECIHTI EN PROYECTOS NACIONALES PRIORITARIOS.

El avance científico y tecnológico desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico, social y ambiental del país. En este contexto, el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) ha sido considerado para participar colaborando y/o coordinando proyectos nacionales prioritarios estratégicos orientados a las políticas de ciencia y tecnología de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

Estos proyectos se desarrollarán mediante la articulación de redes de colaboración con actores del sector académico de las IES y Centros Públicos de Investigación, sector gubernamental de los tres órdenes, el sector privado y todos aquellos que tengan interés y competencias en los temas correspondientes.

Estas redes atenderán las prioridades nacionales, impulsando proyectos de alto impacto que coadyuven al desarrollo de los proyectos estratégicos prioritarios incluidos en el Plan Nacional de Desarrollo (PND), Plan México y en el Programa Especial de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (PECIHTI) de la SECIHTI. A continuación, se presentan los proyectos estratégicos en los que han invitado al CIMAV a participar y/o coordinar.

5.1 CADENA DE VALOR DEL LITIO EN MÉXICO: Proyecto liderado por el CIMAV

Introducción

Desde 2020, el CIMAV ha liderado importantes iniciativas relacionadas con el aprovechamiento del litio en México, destacando el proyecto "Beneficio y Metalurgia Extractiva para Optimizar los Procesos de Extracción de Litio proveniente de Arcillas,



Salmueras Geotérmicas y otros yacimientos existentes en México", cuyo propósito fue generar líneas de proceso para la extracción y refinación de litio, con énfasis en los yacimientos de Sonora y los subproductos del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC. Este proyecto, en el que participaron CIATEQ, UASLP y el Servicio Geológico Mexicano (SGM), concluyó exitosamente en diciembre de 2024.

México, con recursos estimados en 2.5 millones de toneladas de litio, enfrenta el desafío técnico y económico de extraer el mineral, principalmente contenido en arcillas, lo que requiere procesos innovadores y sostenibles. Actualmente, el país importa carbonato de litio, lo que resalta la urgencia de desarrollar una cadena de valor nacional, reduciendo la dependencia de importaciones y posicionando a México como un actor clave en el mercado global del litio.

El fortalecimiento de esta industria requiere un enfoque integral que abarque toda la cadena de valor del mineral, esta es:

- **Fase Extractiva:** Implementación de tecnologías para la extracción eficiente de litio a partir de yacimientos en arcillas.
- **Producción de Material Activo:** Transformación de carbonato o hidróxido de litio en materiales catódicos como NMC y LCO.
- **Fabricación de Celdas y Ensamblado de Baterías:** Integración de materiales activos en dispositivos de almacenamiento de energía.
- **Reciclaje y Economía Circular:** Implementación de tecnologías para la recuperación de litio a partir de baterías usadas, fomentando la sostenibilidad.

El enfoque en la cadena de valor debe fomentar la colaboración entre el gobierno, la academia y el sector privado para desarrollar infraestructura, talento humano y



un ecosistema de innovación.

En 2025, la Directora del CIMAV, la Doctora Leticia Torres, fue designada como líder de la cadena de valor del litio, marcando un paso decisivo hacia la consolidación de una industria nacional que impulse el desarrollo tecnológico, genere empleos y contribuya a la transición energética.

Objetivos

- Fortalecer la integración de la cadena de valor del litio en México mediante un enfoque innovador y sustentable en las áreas de extracción, manufactura y reciclaje.
- Validar y consolidar capacidades iniciales en tecnología de extracción y producción de materiales intermedios, estableciendo una Red Nacional para el Aprovechamiento del Litio.
- Escalar la producción a nivel de planta piloto y desarrollar infraestructura para la manufactura de materiales activos y la fabricación de baterías.
- Impulsar la formación de talento especializado, promoviendo la transferencia de conocimiento y la articulación entre el sector académico e industrial.
- Desarrollar aplicaciones tecnológicas de alto valor, priorizando sectores estratégicos como el automotriz (e-Mobility), las energías renovables y la electrónica de consumo.
- Garantizar la sostenibilidad ambiental y social, estableciendo normativas que regulen la extracción y el manejo del litio bajo criterios de sustentabilidad y responsabilidad social.

Resultados Esperados



- Consolidación de una industria nacional del litio, reduciendo la dependencia de importaciones y promoviendo el desarrollo económico del país.
- Implementación de plantas piloto para la extracción de litio, producción de materiales activos, fabricación de celdas, ensamblaje y reciclaje de baterías.
- Desarrollo de capacidades nacionales en tecnologías de extracción eficientes y sostenibles, adaptadas a los yacimientos de litio en arcillas.
- Producción de materiales intermedios como carbonato e hidróxido de litio, así como óxidos catódicos avanzados para la fabricación de baterías.
- Formación de una red de colaboración entre el gobierno, la academia y la industria, fomentando la investigación y el desarrollo tecnológico.
- Generación de empleos especializados y desarrollo regional, impulsando oportunidades en comunidades cercanas a los yacimientos y zonas industriales.
- Aplicación de normativas ambientales y sociales, asegurando un aprovechamiento sustentable del litio con beneficios económicos y sociales de largo plazo.

5.2 DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES EN MÉXICO:

Proyecto en colaboración.

Introducción

La industria de los semiconductores es un pilar fundamental para el desarrollo tecnológico y la competitividad económica en el siglo XXI. Su aplicación abarca sectores clave como la electrónica, telecomunicaciones, energías renovables y salud. En este contexto, México enfrenta el desafío de consolidar su industria de



semiconductores, reduciendo la dependencia de importaciones y fortaleciendo su capacidad en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i).

Para impulsar esta transformación, el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) ha sido invitado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) a colaborar en el desarrollo de esta industria. Un antecedente de esta iniciativa es el Convenio de Colaboración (DOF, junio 2024), firmado por diversas secretarías y organismos del gobierno federal, con el objetivo de fortalecer las capacidades nacionales en semiconductores y posicionar a México en el escenario global.

La consolidación de la industria de semiconductores en México representa una oportunidad estratégica para el crecimiento económico y la transición hacia una economía del conocimiento. Gracias a la colaboración entre CIMAV y SECIHTI, junto con el respaldo de los tres órdenes de Gobierno, se está sentando una base sólida para que México se convierta en un actor clave en el sector de semiconductores a nivel mundial.

Objetivos:

- Promover el desarrollo de la industria de semiconductores en México mediante un enfoque integral que incluya:
- Formular políticas de Estado para el impulso de la industria.
- Fortalecer las capacidades en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i).
- Formar recursos humanos especializados.
- Crear la infraestructura y colaboraciones entre academia, industria y gobierno.
- Procurar Incentivos gubernamentales para el establecimiento de unidades de



diseño de semiconductores en el estado de Chihuahua.

Resultados Esperados

1. Desarrollo de capacidades regionales

- Creación y fortalecimiento de infraestructura especializada en Chihuahua y otras regiones clave.
- Implementación de unidades de diseño de dispositivos electrónicos.
- Formación de talento humano mediante la Maestría en Ciencia de Materiales con especialidad en Semiconductores y el Diplomado en Semiconductores.
- Capacitación especializada por los expertos de INAOE y CINVESTAV, al personal que formará parte de la unidad de diseño de dispositivos electrónicos.
- Elaboración de un plan detallado de implementación con vinculación a actores estratégicos.
- Inventario de semiconductores importados en Chihuahua para identificar oportunidades de producción local.

2. Tecnologías para la industria de semiconductores

- Desarrollo de semiconductores para dispositivos optoelectrónicos, paneles solares, LED y sensores ópticos.
- Investigación y aplicación de semiconductores en dispositivos médicos avanzados, como biosensores y dispositivos de diagnóstico por imágenes.
- Tecnologías de empaquetamiento de semiconductores (back-end), optimizando procesos de ensamblaje y encapsulado.
- Aplicación de impresión 3D para la fabricación aditiva de dispositivos personalizados en el ámbito de la salud.



3. Diseño y caracterización de materiales para semiconductores

- Crecimiento de películas delgadas mediante sistemas de pulverización catódica, RHEED y litografía por láser.
- Diseño de materiales en espintrónica con simulación computacional de propiedades optoelectrónicas.
- Caracterización microestructural, estructural y de propiedades eléctricas mediante TEM-EDS, EELS, AFM, SEM-EDS, XPS, XRD, RAMAN, FT-IR y UV-Vis.
- Análisis de transporte eléctrico y fallas en semiconductores mediante FIB, SEM y TEM.

5.3 GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA EN MÉXICO: Proyecto en colaboración

Introducción

La crisis hídrica en México representa un desafío creciente que afecta tanto a las comunidades rurales como urbanas, comprometiendo la disponibilidad y calidad del agua necesaria para el bienestar humano, la agricultura, la industria y los ecosistemas. A pesar de los avances logrados mediante enfoques transdisciplinarios y la aplicación de tecnologías innovadoras, es imperativo fortalecer la gobernanza del agua y fomentar la justicia ambiental.

Este proyecto busca consolidar una red de colaboración entre Instituciones de Educación Superior (IES), Centros de Investigación (CPs), el gobierno, el sector privado y la comunidad, con el objetivo de implementar estrategias sostenibles en la gestión del agua. Se propone el desarrollo y aplicación de tecnologías para el abastecimiento, uso eficiente, reúso y remediación del agua, asegurando su disponibilidad para generaciones futuras.



Objetivos:

1. Fortalecer la gobernanza del agua mediante la creación de una red de colaboración que integre a actores clave del sector público, privado, académico y comunitario.
2. Desarrollar e implementar tecnologías avanzadas para el tratamiento, potabilización, uso eficiente, reúso y remediación del agua en diferentes regiones del país.
3. Promover la transición hacia una economía circular del agua (ECA), impulsando estrategias innovadoras para el reciclado eficiente de aguas residuales en procesos industriales. Un ejemplo de esto son los proyectos realizados por CIMAV, “Desarrollo de materiales avanzados para la monitorización y eliminación de microcontaminantes emergentes: un paso adelante para una economía circular del agua” y “Transición hacia una economía circular del agua (ECA) implementando tecnologías innovadoras-sostenibles en el saneamiento de aguas residuales para reciclado en procesos industriales en el noroeste de México”.
4. Diagnosticar y conservar los humedales Ramsar en el norte de México, asegurando su sustentabilidad socio-hídrica mediante estrategias de manejo integral.
5. Capacitar a comunidades y técnicos en el uso de nuevas tecnologías de gestión hídrica para garantizar su implementación efectiva.
6. Restaurar los ríos más contaminados del país, entre otros, las cuencas de los ríos Tula, Atoyac, y Lerma-Santiago.

El CIMAV y la UACH desarrollaron una propuesta integral para participar en la



restauración las cuencas de los ríos Lerma-Santiago y Tula-Atoyac, enfocada en la potabilización del agua, el tratamiento de aguas residuales, el reuso y reciclaje, así como la conservación y educación ambiental.

- **Potabilización y Saneamiento:**

- Propuesta de procesos de potabilización adaptados a la problemática local, considerando la normatividad nacional e internacional para agua de consumo humano.
- Diagnóstico integral de las fuentes de descarga, incluyendo caudal y caracterización fisicoquímica y microbiológica, para establecer medidas de control y mitigación.
- Plan de acuerdos con empresas, organismos gubernamentales y comunidades locales para el cumplimiento de la normatividad ambiental.
- Implementación de sistemas de tratamiento (humedales artificiales, biofiltros y tratamientos fisicoquímicos/biológicos) acorde al tipo de contaminación.

- **Restauración y Conservación:**

- Estrategias basadas en la naturaleza, como la conservación de humedales naturales y vegetación ribereña.
- Diagnóstico del grado de deterioro de las cuencas mediante estudios de calidad del agua y biodiversidad.
- Monitoreo constante para asegurar la efectividad de las medidas de restauración.

- **Educación y Concientización:**



- Capacitación técnica para operadores de plantas de tratamiento y potabilización.
- Programas de sensibilización comunitaria y educación ambiental para fomentar la conservación de cuerpos de agua.
- Talleres multisectoriales para generar planes de manejo integral, consensuados y con seguimiento a corto y mediano plazo.
- Evaluación del impacto de la contaminación en la salud de las poblaciones aledañas.

Esta propuesta busca restaurar el equilibrio ecológico de las cuencas, garantizar el acceso a agua de calidad y crear una cultura de conservación y uso responsable de los recursos hídricos.

Resultados Esperados

1. Implementación de proyectos piloto en diversas regiones del país, probando tecnologías de tratamiento y reúso del agua adaptadas a las necesidades locales.
2. Optimización de sistemas de monitoreo de calidad del agua, incluyendo el desarrollo de sensores para la detección de arsénico y otros contaminantes.
3. Creación de estrategias para la conservación de humedales Ramsar, con diagnósticos detallados sobre flora, fauna y calidad del agua, como los ya realizados en Cañón de Fernández y Laguna de Santiaguillo (conservación de humedales RAMSAR del norte de México: hacia la sustentabilidad socio-hídrica).
4. Realización de talleres multisectoriales para fortalecer la participación comunitaria en la gestión del agua y el diseño de planes de acción conjuntos.



5. Expansión de modelos exitosos a nivel nacional, replicando buenas prácticas en el manejo del agua para garantizar su sostenibilidad y eficiencia.

Este proyecto representa una oportunidad para consolidar esfuerzos interdisciplinarios y multisectoriales, con miras a una gestión integral del agua que responda a los retos actuales y futuros del país.

5.4 DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DEL AUTO ELÉCTRICO MEXICANO OLINIA: Proyecto en colaboración

Introducción

El desarrollo del auto eléctrico mexicano Olinia representa una oportunidad estratégica para fortalecer la industria automotriz nacional y posicionar a México como un actor clave en la transición hacia la movilidad sostenible. Con el respaldo de infraestructura existente, una red de proveeduría local y el apoyo del Gobierno, este proyecto busca consolidar la producción de vehículos eléctricos mediante la implementación de tecnologías innovadoras y sustentables. La participación del CIMAV en este esfuerzo permite aprovechar sus capacidades en selección de materiales, evaluación de componentes electrónicos y estudios de preservación de materiales, garantizando el desarrollo de un producto de alta calidad y rendimiento.

Objetivos:

1. Identificar y fortalecer las capacidades regionales para la producción del auto eléctrico Olinia.
2. Implementar un plan de acción para la evaluación y selección de infraestructura adecuada para la manufactura.



3. Desarrollar tecnologías especializadas en selección y evaluación de materiales para optimizar el desempeño del vehículo.
4. Analizar la viabilidad de la producción local de componentes electrónicos y subensambles y su adaptabilidad a condiciones extremas de operación.
5. Establecer estrategias de colaboración con la industria y el gobierno para consolidar el ecosistema de producción de autos eléctricos en México.

Resultados Esperados

- Mapeo detallado de las capacidades existentes en la región para la producción del auto eléctrico Olinia.
- Implementación de inspecciones en sitio y revisión de requerimientos del proyecto con la participación de expertos.
- Desarrollo de criterios para la selección y validación de materiales con base en su resistencia, durabilidad y sostenibilidad.
- Evaluación de la confiabilidad y desempeño de componentes electrónicos en condiciones extremas.
- Generación de estudios técnicos sobre el deterioro de materiales y su preservación ante factores ambientales y de uso.
- Establecimiento de una red de colaboración entre industria, academia y gobierno para el impulso del auto eléctrico mexicano.

Este esfuerzo contribuirá al fortalecimiento de la industria automotriz nacional y al posicionamiento de México como un referente en la fabricación de vehículos eléctricos sustentables.



5.5 SOBERANÍA ALIMENTARIA: FORTALECIMIENTO DE LA RESILIENCIA EN LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS AGRÍCOLAS, FRIJOL Y MAÍZ. Proyecto en colaboración.

Introducción

La seguridad alimentaria es un reto prioritario para el desarrollo sostenible en México, particularmente en cultivos esenciales como el frijol y el maíz. Ante los desafíos del cambio climático, la degradación del suelo y la creciente demanda de alimentos, es fundamental desarrollar soluciones innovadoras que mejoren la productividad y sostenibilidad de estos cultivos.

La aplicación de nanomateriales y nanocompuestos representa una estrategia prometedora para optimizar el rendimiento agrícola, fortalecer la resistencia de las plantas y minimizar el impacto ambiental. Este proyecto busca consolidar una red de especialistas que impulse la investigación y aplicación de estas tecnologías en la región norte de México, en alineación con los objetivos nacionales de seguridad alimentaria y desarrollo rural.

Objetivos:

General: Establecer una red de especialistas para desarrollar e implementar innovaciones basadas en nanomateriales y nanocompuestos, enfocadas en mejorar la productividad y sostenibilidad de los cultivos de frijol y maíz en México, con el fin de fortalecer la seguridad alimentaria y promover el desarrollo económico en los sectores agrícola y rural.

Específicos

- Integrar una red de expertos de la región norte de México (Chihuahua, Sonora, Baja California, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango y



Zacatecas) para contribuir dentro de la red nacional para el mejoramiento de la producción en el cultivo del frijol y el maíz.

- Elaborar un diagnóstico de la productividad en el cultivo de frijol y maíz.
- Diseñar y sintetizar nanomateriales/nanocompuestos funcionales que favorezcan el crecimiento, desarrollo y resistencia de los cultivos de frijol y maíz, considerando criterios de seguridad ambiental y compatibilidad biológica.
- Evaluar el efecto de los nanomateriales/nanocompuestos en el rendimiento agrícola mediante experimentos de laboratorio y campo, analizando parámetros fisiológicos de productividad, resistencia a factores de estrés abiótico y biótico, y mejora en la calidad de los granos.
- Estudiar el impacto ecológico y toxicológico de los nanomateriales/nanocompuestos utilizados en los suelos agrícolas, la microbiota asociada y ecosistemas colindantes, con énfasis en la sostenibilidad del sistema productivo.
- Fomentar la transferencia de tecnología y capacitación a productores agrícolas, técnicos y estudiantes, asegurando la integración del conocimiento científico a las prácticas del sector agrícola.
- Establecer redes de colaboración interinstitucional que fortalezcan la investigación en el uso de nanomateriales en la agricultura, promoviendo la generación de publicaciones científicas, patentes y modelos tecnológicos transferibles.
- Realizar análisis económicos y sociales que evalúen el costo-beneficio y la aceptación del uso de nanomateriales en sistemas de producción de frijol y



maíz en comunidades rurales y semi-rurales.

Resultados Esperados

- Creación de una red de investigación especializada en la aplicación de nanomateriales en la agricultura.
- Identificación de las principales limitaciones en la productividad del frijol y maíz en la región norte de México.
- Desarrollo de nanomateriales y nanocompuestos innovadores con aplicabilidad agrícola.
- Evaluación de mejoras en el rendimiento y resistencia de los cultivos mediante pruebas de laboratorio y campo.
- Generación de estrategias para mitigar impactos ecológicos y toxicológicos derivados del uso de nanomateriales.
- Transferencia de tecnología y capacitación efectiva a productores y técnicos del sector.
- Publicación de artículos científicos, registros de patentes y tecnologías aplicables.
- Análisis del impacto económico y social de la implementación de estas tecnologías en comunidades rurales y semi-rurales.

Este proyecto contribuirá significativamente al fortalecimiento de la soberanía alimentaria en México, promoviendo el uso responsable de tecnologías emergentes para la optimización de la producción agrícola y el desarrollo sostenible de las comunidades rurales.

5.6 Plan Nacional de Salud



En el Plan Nacional de Salud se pretende establecer estrategias orientadas a garantizar el acceso equitativo a la salud, fortalecer la prevención y el diagnóstico temprano de enfermedades, así como mejorar la calidad de vida de la población mediante tecnologías innovadoras. En este contexto, los proyectos impulsados desde CIMAV y sus redes de colaboración se alinean con estas directrices al proponer soluciones basadas en ciencia de materiales, nanotecnología, fotocátalisis e impresión 3D para abordar desafíos de salud pública.

5.6.1 Purificación de aire: Red Aire 3D ECOS

Introducción

El presente proyecto busca desarrollar, implementar, evaluar y transferir tecnológicamente un sistema innovador de desinfección de aire que mitigue la proliferación y propagación de bacterias, hongos y virus en espacios cerrados. Este sistema combina estructuras fotocatalíticas tridimensionales periódicas impresas en 3D, recubiertas con nanopartículas de dióxido de titanio, integradas en un sistema de recirculación de aire.

La investigación y desarrollo de tecnologías para la salud requiere un enfoque interinstitucional, transdisciplinario y multisectorial. Por ello, se ha conformado la Red Aire 3D ECOS, integrada por expertos en ciencia de materiales, fotocátalisis, manufactura aditiva, diseño asistido por computadora, ingeniería de detalle y escalamiento (InnovaBienestar), epidemiología y enfermedades respiratorias (INER), ingeniería ambiental, biología y agronomía. Esta red contribuirá con conocimiento, evidencia y acciones para alcanzar los objetivos de investigación, impacto social y transferencia tecnológica del proyecto.



El proyecto tiene una duración de cuatro años, divididos en tres etapas:

1. **Desarrollo del sistema de desinfección fotocatalítica (SDF)** (primer año), que incluye el diseño CAD, impresión 3D de estructuras fotocatalíticas y ensamblaje del sistema. Se replicarán 10 prototipos para su evaluación simultánea en diferentes entornos.
2. **Implementación y evaluación** (segundo y tercer año), con pruebas en ambientes controlados (laboratorio) y en condiciones reales de uso (consultorios médicos y dentales, salas de hospital, centros educativos, cocinas industriales, entre otros) durante ocho meses.
3. **Transferencia tecnológica y masificación** (cuarto año), con la cesión de tecnología mediante mecanismos de propiedad intelectual de CIMAV a InnovaBienestar (SeriMédica de México), para su producción, distribución e instalación a gran escala.

Objetivos

- Desarrollar, implementar y evaluar un sistema de desinfección de aire basado en estructuras fotocatalíticas tridimensionales impresas en 3D, capaz de eliminar bacterias, hongos y virus en espacios cerrados.
- Mejorar la salud pública en ambientes de alta afluencia, como hospitales, consultorios médicos, centros educativos y espacios industriales.

Resultados Esperados

- **Desarrollo de prototipos funcionales** de sistemas de desinfección fotocatalítica, con validación científica de su efectividad en la eliminación de microorganismos patógenos.
- **Validación en entornos reales**, mediante la implementación de pruebas



piloto en espacios de alto tráfico, asegurando su eficacia y viabilidad comercial.

- **Transferencia tecnológica y producción a gran escala**, estableciendo una unidad de manufactura y distribución en colaboración con el sector industrial, para su comercialización y adopción en el mercado.

Este proyecto no solo contribuirá a la mejora de la calidad del aire en espacios cerrados, sino que también fortalecerá la capacidad de innovación tecnológica en México, impulsando el desarrollo de soluciones científicas con impacto social y económico.

5.6.2 Diseño de una Red Colaborativa para el Desarrollo de Sistemas Teranósticos Basados en Biomoléculas y Nanotecnología para Combatir Enfermedades Prioritarias que No Responden a los Tratamientos Convencionales

Introducción

A nivel mundial, el cáncer sigue siendo una de las principales causas de muerte, con 20 millones de nuevos casos y 9.7 millones de muertes en 2022. En México, cada año se diagnostican aproximadamente 195,000 casos, de los cuales el 46% de los pacientes fallece. A pesar de la existencia de tratamientos convencionales como la quimioterapia y la radioterapia, estos suelen generar toxicidad y efectos secundarios severos, lo que impulsa la búsqueda de alternativas terapéuticas más efectivas y menos invasivas, como la terapia génica y la inmunoterapia.

Por otro lado, las infecciones por microorganismos multirresistentes representan una creciente amenaza para la salud global. En 2019, contribuyeron a 4.95 millones



de muertes a nivel mundial. Patógenos como *Escherichia coli* y *Mycobacterium tuberculosis* presentan cepas resistentes a los antibióticos, lo que dificulta su tratamiento y representa un obstáculo para los objetivos de salud pública.

En este contexto, el desarrollo de sistemas teranósticos basados en biomoléculas y nanotecnología representa una solución innovadora para el diagnóstico y tratamiento específico de enfermedades prioritarias, abordando de manera eficaz problemas que los tratamientos convencionales no logran resolver.

Objetivo

Desarrollar, evaluar y transferir tecnología de sistemas teranósticos basados en biomoléculas y nanotecnología para la detección y tratamiento de enfermedades prioritarias que no responden a las terapias convencionales, incluyendo cáncer de mama y próstata, así como infecciones por microorganismos multirresistentes.

Resultados Esperados

El presente proyecto se estructura en cuatro paquetes de trabajo (PT) que permiten la investigación, desarrollo y aplicación de soluciones innovadoras:

- **PT1: Nanosistemas para terapias contra el cáncer (mama y próstata).**
 - Diseño y desarrollo de nanosistemas terapéuticos.
 - Caracterización fisicoquímica y estabilidad coloidal.
 - Evaluaciones in vitro y preclínicas en modelos animales.
- **PT2: Nanosistemas para enfermedades causadas por organismos multirresistentes (tuberculosis multirresistente y extremadamente resistente).**
 - Desarrollo y evaluación de nanosistemas antimicrobianos.
 - Ensayos in vitro y preclínicos en modelos animales.



- **PT3: Nanosistemas y dispositivos para detección de cáncer (mama y próstata).**
 - Desarrollo de dispositivos de detección basados en nanotecnología.
 - Pruebas de desempeño en muestras sintéticas y cultivos celulares.
 - Validación preclínica en muestras de pacientes.
- **PT4: Transferencia tecnológica.**
 - Propiedad intelectual y regulaciones sanitarias.
 - Trámites ante COFEPRIS para validación de tecnologías.
 - Estrategias de comercialización y transferencia al sector privado.

Hitos clave del proyecto:

1. Desarrollo de al menos un nanosistema eficaz contra el cáncer de mama con validación preclínica.
2. Desarrollo de al menos un nanosistema eficaz contra el cáncer de próstata con validación preclínica.
3. Desarrollo de un nanosistema eficaz contra la tuberculosis multirresistente y/o extremadamente resistente con validación preclínica.
4. Creación de un dispositivo basado en nanotecnología para la detección temprana de cáncer de mama.
5. Creación de un dispositivo basado en nanotecnología para la detección temprana de cáncer de próstata.

La implementación de este proyecto permitirá generar innovaciones con alto impacto en la salud pública, mejorando la calidad de vida de millones de personas en México y el mundo, además de fortalecer la investigación nacional en el ámbito de la nanotecnología aplicada a la medicina.



5.6.3 Desarrollo de sistemas de detección portátiles basados en nanomateriales para el diagnóstico y monitoreo de la enfermedad renal crónica (ERC) por medio de la detección de Creatinina.

Introducción

La enfermedad renal crónica (ERC) es un problema de salud pública de creciente importancia en México y el mundo. Esta condición se caracteriza por la pérdida progresiva e irreversible de la función renal, lo que conlleva a complicaciones graves y, en ausencia de tratamiento oportuno, a la necesidad de diálisis o trasplante renal. Uno de los principales retos asociados a la ERC es su diagnóstico tardío, debido a la ausencia de síntomas significativos en las etapas tempranas y a la falta de acceso a servicios médicos especializados. En este contexto, el desarrollo de dispositivos portátiles para la detección temprana y monitoreo de biomarcadores asociados a la ERC representa una estrategia innovadora y viable para mejorar el pronóstico de los pacientes y optimizar los recursos del sistema de salud.

Objetivos

General

Desarrollar un ecosistema de trabajo que facilite la creación de sistemas electroanalíticos para la detección y monitoreo de biomarcadores asociados a las enfermedades crónico-degenerativas (ECD) con mayor prevalencia en el país, contribuyendo al monitoreo preventivo y al tratamiento oportuno de estos padecimientos.

Específicos

- Diseñar y fabricar nanosensores electroquímicos sensibles y selectivos para la detección de creatinina en muestras biológicas complejas.



- Desarrollar un sistema electrónico portátil que permita la adquisición, procesamiento y visualización de los datos obtenidos a partir de los nanosensores.
- Validar el desempeño de los nanosensores y del sistema electrónico en condiciones de laboratorio y en entornos clínicos reales.
- Implementar un protocolo de calibración y mantenimiento para garantizar la repetibilidad y confiabilidad de las mediciones.
- Crear un modelo de transferencia tecnológica que permita la producción y distribución masiva de los dispositivos desarrollados.

Resultados esperados:

- Obtención de nanosensores electroquímicos con alta sensibilidad y selectividad para la detección de creatinina.
- Desarrollo de un dispositivo portátil funcional, de bajo costo y fácil uso, capaz de realizar mediciones precisas y rápidas en muestras biológicas.
- Validación clínica que demuestre la efectividad del dispositivo en el diagnóstico y monitoreo de la ERC.
- Generación de un protocolo de uso y calibración que asegure la calidad de las mediciones a lo largo del tiempo.
- Fortalecimiento de la colaboración entre grupos de investigación nacionales en el área de sensores, biosensores y diseño electrónico.
- Contribución a la detección temprana y tratamiento oportuno de la ERC, mejorando la calidad de vida de los pacientes y optimizando los recursos del sistema de salud pública.

La creación de un ecosistema de trabajo orientado al desarrollo de sistemas



portátiles de detección de biomarcadores asociados a la ERC, particularmente la creatinina, representa una estrategia clave para enfrentar los desafíos actuales en el diagnóstico y tratamiento de esta enfermedad. Al integrar la experiencia en nanomateriales, electroquímica y diseño electrónico, se busca proporcionar soluciones innovadoras y accesibles que impacten positivamente en la salud pública del país.

5.7 Transición energética

La transición energética es un proceso clave para el desarrollo sostenible de México, que busca reducir las emisiones de carbono y diversificar las fuentes de energía. En este contexto, el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) se posiciona como un aliado estratégico en colaboración con la SECIHTI, para impulsar proyectos de investigación y desarrollo de materiales avanzados que permitan el aprovechamiento eficiente y sostenible de la energía. A continuación, se presentan los proyectos que CIMAV propone para fortalecer este proceso.

5.7.1 Desarrollo de Nanoingeniería de Materiales para el Escalamiento de los Dispositivos a Base de Baterías Zinc-Aire

Introducción

El desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía sostenibles y eficientes es fundamental para la transición energética. Las baterías de zinc-aire representan una alternativa prometedora a las baterías de ion-litio, especialmente por su bajo costo, alta densidad energética y menor impacto ambiental. Sin embargo, el desafío radica en mejorar su estabilidad, durabilidad y eficiencia, aspectos clave que este proyecto busca abordar a través de la nanoingeniería de materiales.



Objetivo

Desarrollar y mejorar materiales nanoestructurados para los electrodos de las baterías de zinc-aire, con el fin de:

- Mejorar la conductividad.
- Incrementar la capacidad de almacenamiento de energía.
- Optimizar la eficiencia de carga y descarga.
- Aumentar la estabilidad y durabilidad de las baterías.

Resultados esperados

- Obtención de baterías zinc-aire más sostenibles, rentables y eficientes que las baterías de ion-litio.
- Aplicaciones a gran escala en energía renovable, autosuficiencia energética en zonas rurales y vehículos eléctricos.
- Posicionamiento de las baterías zinc-aire como una opción competitiva en el almacenamiento de energía, resolviendo los problemas de escalabilidad y contribuyendo al futuro de las tecnologías energéticas sostenibles.

5.7.2 Desarrollo de Materiales Avanzados y el Diseño de Prototipos Innovadores para la Captura de CO₂ en Fuentes Fijas.

La captura de CO₂ en fuentes fijas es una estrategia crucial para mitigar el cambio climático y reducir las emisiones industriales. En este contexto, el CIMAV impulsa el desarrollo de materiales avanzados y prototipos innovadores que permitan una captura eficiente, continua y sostenible de CO₂, contribuyendo así a los objetivos de descarbonización nacional e internacional. A continuación se describen algunas iniciativas.

5.7.2.1. Producción de Hidrógeno Azul mediante la Incorporación de Materiales



Avanzados Capaces de Capturar CO₂ a Tecnologías Convencionales de Generación de Hidrógeno.

Introducción

La producción de hidrógeno azul se perfila como una solución clave para avanzar hacia una economía de bajas emisiones de carbono, aprovechando las tecnologías existentes de generación de hidrógeno mientras se mitigan sus impactos ambientales. Incorporar materiales avanzados que capturen CO₂ de manera eficiente es fundamental para transformar los procesos convencionales y hacerlos más sostenibles y competitivos en el mercado energético global.

Objetivo:

- Investigar y desarrollar materiales absorbentes o adsorbentes avanzados que sean capaces de capturar CO₂ de manera eficiente bajo condiciones industriales, especialmente a altas temperaturas y presiones.
- Desarrollar prototipos de sistemas híbridos que integren de forma eficiente las tecnologías de captura de CO₂ con procesos convencionales de producción de hidrógeno, como el reformado de metano con vapor (SMR) y la gasificación de carbón, sin afectar negativamente la eficiencia de producción.

Resultados esperados

- Obtención de materiales avanzados con alta capacidad de captura de CO₂ en entornos industriales exigentes.
- Creación de prototipos funcionales de sistemas de producción de hidrógeno azul que reduzcan significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero.



- Contribución directa a la transición energética, proporcionando una alternativa viable y sostenible sin requerir una transformación total de las infraestructuras industriales existentes.
- Posicionamiento del CIMAV como líder en el desarrollo de tecnologías innovadoras para la descarbonización industrial y la producción de energía limpia.

5.7.2.2 Nuevos Materiales Semiconductores para la Producción de Hidrógeno Verde Mediante Tecnologías Avanzadas Fotoelectrocatalíticas y Fotocatalíticas

Introducción

La producción de hidrógeno verde representa una de las soluciones más prometedoras para alcanzar la neutralidad de carbono y avanzar hacia una economía energética sostenible. Las tecnologías fotoelectrocatalíticas y fotocatalíticas permiten convertir la energía solar en hidrógeno de manera limpia y eficiente, utilizando materiales semiconductores avanzados que maximizan la absorción de luz y optimizan el proceso de descomposición del agua.

Objetivo

Sintetizar nuevos semiconductores con propiedades óptimas para la fotocatálisis y fotoelectrocatalisis, mejorando la eficiencia y estabilidad de la producción de hidrógeno a partir de la descomposición del agua.

- Explorar materiales como óxidos metálicos, materiales tipo perovskita, sulfuros metálicos y materiales basados en carbono grafitado (por ejemplo, óxido de grafeno y nanotubos de carbono) que aumenten la capacidad de absorción de luz solar y mejoren la conversión de energía solar en energía



química.

Resultados esperados

- Desarrollo de materiales semiconductores innovadores con propiedades fotocatalíticas mejoradas.
- Incremento significativo en la eficiencia de la producción de hidrógeno a partir de agua y luz solar.
- Contribución a la creación de una economía de hidrógeno verde, ofreciendo una fuente de energía renovable versátil y accesible.
- Impulso a la descarbonización industrial y al transporte limpio, proporcionando una solución clave para el almacenamiento de energía y la lucha contra el cambio climático.

5.7.2.3.Desarrollo de Materiales Avanzados para la Fabricación de Celdas Fotoelectroquímicas de Última Generación, para a la Producción de Combustibles Solares y Sustancias de Valor Agregado a partir de CO₂ y Agua

Introducción

La producción de combustibles solares a partir de CO₂ y agua representa una estrategia viable y económica para reducir las emisiones de carbono y generar productos de valor agregado. Las celdas fotoelectroquímicas de última generación, impulsadas por materiales avanzados, permiten aprovechar la energía solar de manera eficiente, transformando recursos abundantes y subutilizados en combustibles limpios y productos químicos ecológicos.

Objetivo

- Sintetizar y optimizar materiales semiconductores de alto rendimiento para



las celdas fotoelectroquímicas, capaces de absorber de manera eficiente la luz solar y facilitar las reacciones fotoquímicas necesarias para la conversión de CO_2 y agua en combustibles solares.

- Mejorar la conductividad electrónica y la separación de cargas de los materiales semiconductores, utilizando nanotecnologías y estructuras nanométricas.
- Diseñar celdas fotoelectroquímicas (PEC) integradas que superen en eficiencia y estabilidad a los dispositivos actuales.

Resultados esperados

- Desarrollo de materiales semiconductores avanzados con alta eficiencia en la conversión de CO_2 y agua en combustibles solares.
- Creación de celdas fotoelectroquímicas de última generación, con rendimiento y estabilidad superiores.
- Reducción significativa de las emisiones de CO_2 mediante la producción de productos químicos sostenibles.
- Provisión de una alternativa económica y viable a las tecnologías de producción de energía y productos químicos a base de combustibles fósiles.
- Impulso a la transición energética y al desarrollo de una economía circular y baja en carbono.



6. CASOS DE ÉXITO

ÁREA AGROINDUSTRIAL:

6.1 Nanomateriales: Innovación para Potenciar la Productividad de Frijol y Maíz

Introducción

A nivel mundial, la agricultura depende del uso intensivo de fertilizantes y plaguicidas químicos, lo que ha generado cambios en el microbioma del suelo, degradación de su calidad y contaminación ambiental (Sharma et al., 2020). Ante estos problemas, el uso de nanopartículas (NPs) surge como una alternativa innovadora para mejorar el rendimiento y valor nutricional de los cultivos, además de reducir su estrés biótico y abiótico (Fraceto et al., 2016; Nuruzzaman et al., 2016). Las NPs de óxidos metálicos, como TiO_2 , ZnO , MgO y CuO , han demostrado tener un impacto positivo en el crecimiento vegetal, dependiendo de su tamaño, forma, concentración y el tipo de cultivo en el que se aplican (Rajput et al., 2018; Šebesta et al., 2021).

En el CIMAV Chihuahua, se han estudiado durante más de cinco años los efectos de diversas nanoestructuras en cultivos clave de la región, como alfalfa, manzana, maíz y frijol. Además, se han realizado ensayos sobre la tolerancia de microorganismos benéficos y patógenos a las NPs. En alfalfa, por ejemplo, se observó que el CuO a 200 ppm promovió el crecimiento vegetal, aumentando el número de hojas y el peso seco en casi un 300 %.

Datos del Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP, 2024) indican que, la producción nacional de maíz en el cierre del periodo primavera-verano de 2024 fue de 2.7 millones de toneladas (4.6 % menos que lo correspondiente al 2023). Para



el frijol, del periodo 2022 al 2023 la producción disminuyó de 965, 371 a 743710 toneladas (23 % menos) (SIAP, 2024). Por lo que, es urgente desarrollar estrategias innovadoras que optimicen la productividad agrícola de estos cultivos esenciales.

Objetivo General

Evaluar el impacto de nanomateriales en el crecimiento, rendimiento y resistencia al estrés de los cultivos de frijol y maíz, con el fin de desarrollar estrategias sostenibles que mejoren su productividad.

3. Objetivos Específicos

- Analizar el efecto de nanopartículas de CuO (200 ppm) en combinación con el hongo benéfico *Trichoderma* en el crecimiento del maíz y su resistencia a *Fusarium*.
- Evaluar el impacto de diferentes fases cristalinas de nanopartículas de TiO₂ (anatasa, rutilo y P25) en la promoción del crecimiento vegetal.
- Determinar la efectividad de nanopartículas de óxido de magnesio dopado con zinc (MgO-Zn²⁺) en la germinación y emergencia del frijol (*Phaseolus vulgaris*).
- Identificar las concentraciones óptimas de nanopartículas para maximizar la biomasa y vigor de las plántulas de maíz y frijol.

Resultados

• Nanopartículas de CuO y *Trichoderma* en Maíz

Se realizaron estudios en maíz utilizando NPs de CuO (200 ppm) combinadas con el hongo benéfico *Trichoderma*, evaluando su impacto en el crecimiento vegetal y el control del hongo fitopatógeno *Fusarium*.

Los resultados mostraron que:

- Las NPs de CuO por sí solas no generaron un efecto significativo.
- La combinación de NPs con *Trichoderma* promovió un crecimiento del 10 %.
- En presencia de *Fusarium*, las plantas tratadas con NPs y *Trichoderma* mostraron una recuperación del 20 % en comparación con los tratamientos solo con el fitopatógeno.

Estos hallazgos son prometedores (Figura 1), para el desarrollo de una bionanoformulación con aplicaciones en la agricultura.



Figura 1. Las NPs de CuO y *T. atroviride* incrementa el crecimiento de plantas de maíz y ayudan a contrarrestar el efecto de *F. oxysporum*.

• Nanopartículas de TiO₂ en Maíz

Se llevaron a cabo ensayos con nanopartículas de TiO₂ en tres fases cristalinas: anatasa, rutilo y la forma comercial P25 (mezcla de ambas).

Los resultados (figura 2) indicaron que:

- Las fases de anatasa y rutilo a 10 y 25 ppm fueron las más efectivas.
- Se observó un mayor vigor en las plantas, con un incremento significativo en el desarrollo radicular (más del 50 %).

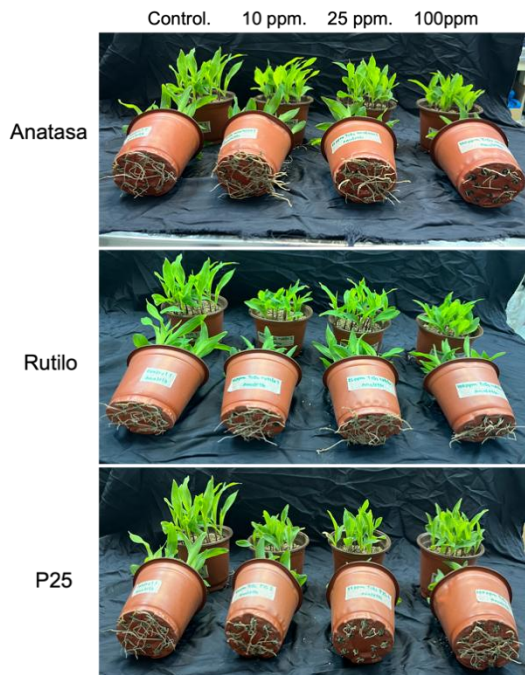


Figura 2. Las NPs de TiO_2 incrementa el crecimiento radicular de plantas de maíz.

Estos datos sugieren que el TiO_2 puede ser un nanofertilizante con potencial para mejorar la productividad del maíz.

- **Nanopartículas de MgO-Zn^{2+} en Frijol**

Para optimizar la producción agrícola de manera sostenible, se han explorado nanomateriales como fertilizantes, destacando los óxidos metálicos como ZnO , FeO y CuO . En este contexto, el magnesio (Mg) y el zinc (Zn) desempeñan funciones clave en los procesos metabólicos de las plantas. Con el propósito de mejorar la germinación y emergencia del frijol (*Phaseolus vulgaris*), se ha desarrollado un fertilizante basado en nanopartículas de óxido de magnesio dopado con zinc (MgO-Zn^{2+}).

Se diseñó un fertilizante basado en nanopartículas de óxido de magnesio dopado con zinc (MgO-Zn^{2+}) para mejorar la germinación y emergencia del frijol.

Los ensayos incluyeron dos concentraciones:



- **MgO-Zn10%**
- **MgO-Zn16%**

Principales hallazgos (Figura 3):

Los resultados mostraron que las semillas tratadas con MgO-Zn^{2+} presentaron un mayor índice de germinación en comparación con el grupo control. Este fenómeno, conocido como nanoprimering, es una tecnología innovadora que mejora la germinación y el crecimiento de las semillas mediante la activación de especies reactivas de oxígeno (ROS), facilitando la absorción de agua y la degradación del almidón. Este proceso mejora la tolerancia al estrés y contribuye a optimizar el rendimiento agrícola.

- El tratamiento con MgO-Zn^{2+} aumentó el índice de germinación comparado con el control.
- A 250 ppm, el MgO-Zn16% incrementó el peso seco de las plántulas en un 53 %.
- A 1000 ppm, se observó un aumento del 43 % en la biomasa.
- El tratamiento con MgO-Zn10% a 100 ppm generó un incremento del 35 % en la germinación.

La irrigación con MgO-Zn durante la fase de emergencia promovió un incremento significativo en la longitud y biomasa de las plántulas. Los resultados mostraron que, en comparación con el control, el tratamiento con MgO-Zn16% a 250 ppm indujo un incremento del 53% en el peso seco de las plántulas. Asimismo, a una concentración de 1000 ppm, se observó un aumento del 43% en la biomasa. Por otro lado, el tratamiento con MgO-Zn10% a 100 ppm generó un incremento del 35% en el porcentaje de germinación.

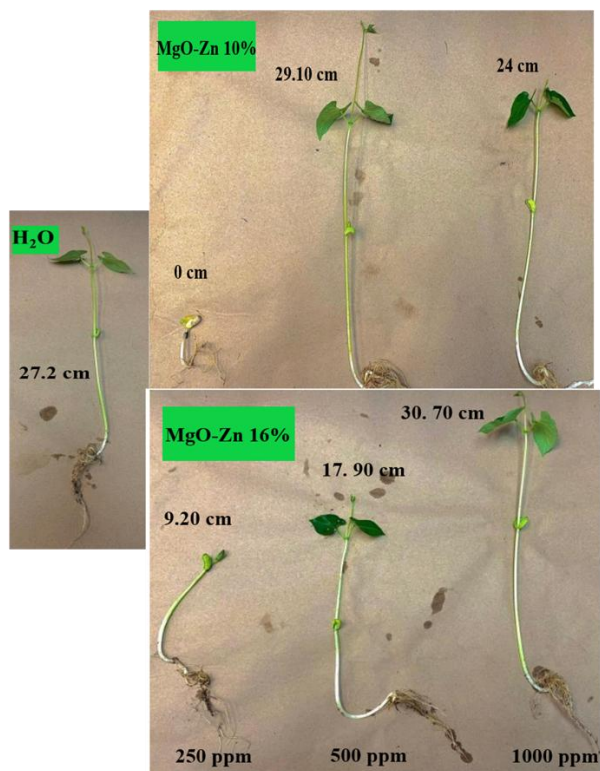


Figura 3. Las NPs de MgO dopadas con Zn incrementa el crecimiento de plantas de frijol.

Estos resultados respaldan el uso de nanopartículas como una estrategia para mejorar el rendimiento agrícola.

- **Relevancia del Proyecto**

La disminución en la producción de frijol y maíz en México resalta la necesidad de nuevas tecnologías que optimicen la productividad agrícola. El uso de nanomateriales en la agricultura es una alternativa innovadora con múltiples beneficios:

- **Mejora en el crecimiento y rendimiento de los cultivos**, aumentando la biomasa y vigor de las plantas.



- **Reducción del impacto ambiental**, al disminuir la dependencia de fertilizantes y plaguicidas químicos.
- **Fortalecimiento de la resistencia al estrés biótico y abiótico**, ayudando a los cultivos a enfrentar condiciones adversas.
- **Potencial para el desarrollo de biofertilizantes y bionanoformulaciones**, abriendo nuevas oportunidades en la agricultura sostenible.

Los hallazgos de este proyecto contribuyen al desarrollo de estrategias innovadoras para optimizar la producción de maíz y frijol, promoviendo una agricultura más eficiente y amigable con el medio ambiente.





6.2 Evaluación de la eficiencia del nanocomposito Selenio-quitosano-ácido salicílico para el control del patógeno de la raíz rosada en cultivo de cebolla.

Introducción:

La enfermedad de la raíz rosada impacta negativamente el rendimiento y la calidad de los cultivos de cebolla, lo que provoca una reducción en la producción y pérdidas económicas para los agricultores. El uso de este nanocomposito podría ser una alternativa efectiva y sostenible para el control del patógeno, contribuyendo a reducir la dependencia de agroquímicos sintéticos y favoreciendo la sanidad del cultivo.

Objetivo general.

Evaluar la eficiencia del nanocomposito Selenio-Quitosano-Ácido Salicílico en el control del patógeno causante de la raíz rosada en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*), mediante ensayos in vitro e in vivo, con el fin de determinar su potencial como una alternativa biocompatible para el manejo de esta enfermedad.

Objetivos específicos.

- **Caracterizar fisicoquímicamente el nanocomposito**
Selenio-Quitosano-Ácido Salicílico para determinar sus propiedades estructurales y funcionales relevantes para su acción antimicrobiana.
- **Evaluar la actividad antifúngica in vitro** del nanocomposito contra el agente causal de la raíz rosada, mediante pruebas de inhibición del crecimiento micelial.



- **Determinar la eficacia in vivo del nanocomposito** en plantas de cebolla bajo condiciones controladas, analizando su impacto en la incidencia y severidad de la enfermedad.
- **Analizar la compatibilidad del nanocomposito con el cultivo de cebolla**, evaluando posibles efectos fitotóxicos y su influencia en el desarrollo vegetal.
- **Comparar la efectividad del nanocomposito con tratamientos convencionales**, estableciendo su potencial como una alternativa sostenible para el manejo del patógeno.

Descripción del proyecto.

La presencia de plagas y fitopatógenos en suelos y en cultivos agrícolas es un serio desafío que se agrava con la deficiencia de nutrientes en los suelos, la escasez del agua y el cambio climático. En el país, un problema en el cultivo de cebolla es por el fitopatógeno *Pyrenochaeta terrestris* causante de la enfermedad de la “pudrición rosada”, que resulta en pérdidas del 10-30% en la producción [4]. Este proyecto se enfocó en desarrollar y caracterizar un nanocomposito de selenio-quitosano-ácido salicílico (NC Se-CS-AS), como una alternativa inocua, sustentable y amigable con el medio ambiente, para el control del patógeno de la raíz rosada en cultivo de cebolla. Dado que el NC Se-CS-AS se conforma por un micronutriente benéfico en plantas y por moléculas naturales bioestimulantes que además tienen capacidad antimicrobiana, se plantea que estas actúen sinérgicamente, potenciando su efecto contra la enfermedad mediante la acción directa contra el fitopatógeno y, a la vez como mejorador de la resistencia de la planta de cebolla al estrés por fitopatógenos y estrés abiótico. Los resultados de la caracterización fisicoquímica mediante



técnicas de MET, DRX, evidenciaron que las SeNPs-CS están en su fase trigonal con partículas <100 nm, y se recubrieron con AS, confirmado por la presencia de grupos funcionales característicos de los componentes. También mediante ICP-OES y UV/vis, se corroboró que la carga de Se y As en el NC, fue del 74 y 95%, respectivamente. Paralelamente se tomaron muestras de suelo de 4 campos de cultivo de cebolla, abarcando la región de Meoqui-Jiménez, encontrando suelos alcalino-salinos, con contenido de bajo a moderado de materia orgánica, deficiencias de micronutrientes como Se, Zn, Cu, etc, y con texturas que van del Franco-arenoso, franco-arcillo-arenoso y arcillo-limoso. Los resultados de caracterización son útiles para las condiciones en las que se realizarán las curvas de liberación de los componentes del NC. De los mismos puntos de muestreo de suelo, se obtuvieron muestras de cebollas con la raíz rosada, de las que se aislaron 17 cepas de hongos y de esas se han obtenido 10 aislados aparentemente puros. Acorde a las características microscópicas y macroscópicas, se presume que se trata de especies de *Fusarium* y probablemente de *P. terrestris*. Dado que el aislamiento llevó más tiempo de lo planeado y que se obtuvieron varias cepas, se propone como etapa posterior, realizar pruebas de patogenicidad, como tamiz para delimitar las cepas con mayor patogenicidad y luego realizarles la identificación molecular y a la par, probar la eficiencia del NC contra las cepas con mayor patogenicidad. Por su parte las curvas de liberación se plantean en etapa posterior, para considerar condiciones de los suelos de la región, como contenido de materia orgánica, pH, conductividad, etc.

Resultados



- Desarrollo de un taller participativo con productores de cebolla de la región Meoqui-Jiménez.
- Suministro de fichas técnicas a los productores asistentes al taller, con los resultados de la caracterización del suelo y de los hongos aislados de muestras de cebolla.
- Colaboración estrecha con productores que proveen acceso a sus campos de cultivo para la toma de muestras y de plántulas de cebolla.
- Participación en dos congresos Internacionales (48 CMCS y
- Organización de un simposio en un congreso, con tema relacionado.
- Publicación de un *in extenso* con resultados de la caracterización de SeNP-CS y de los hongos aislados de muestras de cebolla con afección de la raíz rosada.
- Asesoría de alumnos de licenciatura e involucrados en el tema del proyecto: Gabriela Angelina Beltrán Ambriz, realizó estancia, desarrollando síntesis del NC.

Isaac Daniel Aguilar Lara, se encuentra realizando servicio social, desarrollando el aislamiento y cultivo de hongos de cebollas con raíz rosada y síntesis de NC.

Erick Auden Weckmann García, se encuentra realizando Prácticas profesionales, desarrollando síntesis del NC y pruebas de escalamiento.

- Asesoría de alumno de maestría, en tema del proyecto Oscar J. Orozco Mireles, MCTA.
- Se aplicó a la convocatoria FECTI con tema relacionado que complementa a este proyecto, y se aprobó el financiamiento. Además, se amplió la colaboración con colegas del CIAD Delicias y la FCAF- UACH Delicias.



Impacto y relevancia.

Impacto Científico

El desarrollo y evaluación del nanocomposito **Selenio-Quitosano-Ácido Salicílico** contribuirá al conocimiento sobre el uso de nanomateriales en la agricultura, especialmente en el manejo de enfermedades fúngicas en cultivos de importancia económica. Además, permitirá comprender mejor las interacciones entre este nanocompuesto y el patógeno responsable de la raíz rosada en cebolla, aportando información valiosa para futuras investigaciones en biotecnología agrícola y fitopatología.

Impacto Agronómico

La raíz rosada es una enfermedad que afecta significativamente el rendimiento y la calidad del cultivo de cebolla, reduciendo la producción y generando pérdidas económicas para los agricultores. La aplicación de este nanocomposito podría representar una **alternativa eficaz y sostenible** para el control del patógeno, disminuyendo la dependencia de agroquímicos sintéticos y mejorando la sanidad del cultivo.

Impacto Ambiental

El uso de nanocompuestos basados en elementos biocompatibles como el **selenio, el quitosano y el ácido salicílico** ofrece una estrategia ecológicamente segura para el control de enfermedades agrícolas. A diferencia de los fungicidas sintéticos convencionales, este nanocomposito podría reducir el impacto ambiental negativo



asociado a la acumulación de residuos químicos en el suelo y el agua, contribuyendo a un **manejo integrado de plagas y enfermedades más sustentable**.

Relevancia Económica y Social

Dado que la cebolla es un cultivo de gran importancia económica en diversas regiones, la implementación de un tratamiento innovador y efectivo para la raíz rosada puede **aumentar la rentabilidad de los productores** al reducir pérdidas y mejorar la calidad de los bulbos. Además, el uso de tecnologías más amigables con el medio ambiente responde a la creciente demanda de **productos agrícolas más seguros y libres de contaminantes**, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores.

Aplicaciones Futuras

Si los resultados del estudio confirman la eficiencia del nanocomposito, su uso podría extenderse a otros cultivos afectados por enfermedades fúngicas, promoviendo su adopción en la agricultura como un tratamiento preventivo o curativo de bajo impacto ambiental. Asimismo, este proyecto podría sentar las bases para el desarrollo de **nuevas formulaciones basadas en nanotecnología** para la protección vegetal.

SALUD:

6.3 Desarrollo de un sistema electroanalítico miniaturizado basado en grafeno-inducido para el análisis en microvolúmenes (*droplet*) de biofluidos

Introducción:



El desarrollo de sistemas de análisis electroquímico en microvolúmenes es clave para la detección rápida y precisa de biomoléculas. Este proyecto propone un sistema electroanalítico miniaturizado basado en grafeno-inducido, optimizado para el análisis en gotas de biofluidos. Su diseño busca mejorar la sensibilidad, reducir el consumo de reactivos y facilitar su aplicación en diagnóstico biomédico y monitoreo ambiental.

Objetivo General:

Desarrollar un sistema electroanalítico miniaturizado basado en grafeno inducido capaz de funcionar como plataforma base para la detección de biomarcadores en microvolúmenes (*droplet*) de biofluidos

Objetivos Específicos:

- Diseñar y optimizar un arreglo de microelectrodos de grafeno-inducido para su operación en microvolúmenes menores a 10 μL
- Evaluar la estabilidad del sistema miniaturizado y la reproducibilidad de las mediciones electroquímicas realizadas
- Modificación de microelectrodos con nanomateriales selectivos a biomarcadores específicos
- Evaluación del rango de detección del sistema miniaturizado electroanalítico en muestras de microvolúmenes de biofluidos

Descripción.



Los sistemas point of care (POC) electroquímicos representan una tecnología prometedora para la atención médica, pues proporcionan resultados rápidos y precisos fuera del entorno tradicional de laboratorio [1]. Al contar con pruebas diagnósticas rápidas y precisas se puede mejorar la eficiencia del tratamiento, reducir los tiempos de espera y proporcionar una atención médica más oportuna y personalizada. Adicionalmente, los POC requieren un menor número de recursos para su implementación, lo que los hace viables para operar en poblaciones remotas o con recursos limitados [1]. Para su funcionamiento, los POC pueden integrar sensores electroquímicos que realizan la cuantificación de biomarcadores a partir de la interacción entre electrodos modificados y los analitos presentes en la muestra. Esta interacción genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración de los biomarcadores, que es interpretada por un circuito electrónico que presenta la información en términos legibles para el usuario. Este paradigma presenta anualmente un gran número de publicaciones abordando sobre todo **nuevos métodos de detección o nuevos materiales nanoestructurados selectivos** [2]. Sin embargo, **existen pocos ejemplos de sensores electroquímicos incorporados en formato POC** cuya tecnología puede ser aplicada en entornos reales [3]. Esto se debe a que la mayor parte de la investigación se focaliza en obtener un nuevo material, pero su optimización para operar de forma estable en entornos más desafiantes es generalmente hecho a un lado por considerarse menos novedoso. Algunos de los desafíos multifactoriales que impiden la implementación de los sensores electroquímicos muestra complejas incluyen:



- La pasivación de la superficie de los sensores electroquímicos por procesos de biofouling derivados de la interacción entre el electrodo y las proteínas presentes en los biofluidos a analizar [2,3].
- La necesidad de contar con un pre-procesamiento de la muestra a analizar, añadiendo a la detección pasos adicionales como filtrado, dilución, extracción o centrifugación [3].
- Minimizar el volumen de muestra a utilizar en la medición (generalmente 1-10 mL), pues el reportado en literatura es generalmente incompatible con los requerimientos de un sistema de monitoreo portátil [2,3].

Para situar esta problemática es útil estudiar **el detector de glucosa en sangre**, pues este POC es el más exitoso a nivel comercial y se encuentra validado para su uso en el monitoreo de glucemia. En este POC, el micro volumen de muestra analizada o *droplet* es de apenas 1 μL en algunos modelos, gracias a su sistema integrado de microelectrodos. Esto minimiza a su vez el efecto de biofouling y debido a que las concentraciones de glucemia sobrepasan el rango de mM, el efecto analítico es menor que en otros biomarcadores permitiendo prescindir de un sistema de pre-procesamiento de muestra. Por tanto, aunque el principio de detección basado en la interacción entre la glucosa en sangre con la enzima glucosa oxidasa inmovilizada en un electrodo es conocido hace décadas, sólo a través del desarrollo tecnológico y la innovación se resolvieron los desafíos que dificultan la implementación comercial de este POC en entornos reales [4]. En este sentido, en CIMAV se tienen antecedentes y experiencia en el desarrollo de nanomateriales que presentan una respuesta prometedora hacia biomarcadores de relevancia clínica



como la **glucosa** [5], **ácido úrico** [6] y **creatinina** [7], mismos que han sido abordados en tesis de maestría y doctorado, publicaciones científicas y solicitudes de patente. En este proyecto se busca avanzar a una etapa de implementación que combine la manufactura de microelectrodos y la modificación de su superficie para realizar la detección electroanalítica de biomarcadores empleando micro volúmenes (*droplet*) de biofluidos. El énfasis no se encontrará en la detección, la cuál ha sido abordada previamente, sino en la implementación de estrategias que permitan que el dispositivo analítico pueda operar en un formato POC lejos del entorno tradicional de laboratorio.

Resultados

En este proyecto se trabajó en la fabricación de microelectrodos por el método de inducción láser de grafeno o laser-induced graphene (μ LIG), los cuáles se produjeron al carbonizar controladamente la superficie de un sustrato de poliimida con un láser de CO₂. Para compensar el incremento en la resistencia eléctrica por la disminución en las dimensiones del electrodo, fue necesario realizar un estudio comparativo de la influencia que las condiciones de grabado ejercen sobre la resistencia eléctrica del material, y con ello obtener propiedades favorables aún en dimensiones reducidas. Posteriormente, el sistema μ LIG fue empleado como base para construir un sensor no-enzimático de glucosa al electrodepositar nanopartículas de Ni (NiNPs) a partir de una solución de 20 mM de NiSO₄ y un potencial de +1.0 V. Con el sensor no-enzimático μ LIG/NiNPs se obtuvo la detección de glucosa en un rango de 0 a 10 mM (0-180 mg/dL). Posteriormente, los μ LIG fabricados fueron embebidos en una cámara microfluídica diseñada para coleccionar



muestras en volúmenes máximos de 1.5 μL . Con este principio de operación se evaluó el μLIG en muestras de sangre obtenidas con un sistema de punción comercial, registrándose una corriente cuasi reversible de alrededor de 0.5 μA por voltamperometría cíclica en una ventana de potencial de -0.4 a 0.5 V. Por tanto, se obtuvo evidencia que los sistemas electroanalíticos basados en μLIG son capaces de funcionar como plataforma base de POC, especialmente para aplicaciones relacionadas con detección de biomarcadores en micro volúmenes o *droplet*.

Relevancia

- Micro Volúmenes (*droplet*): la medición electroquímica en *droplet* es una técnica innovadora que permite realizar análisis electroquímicos en volúmenes ultra pequeños de líquido, típicamente en el rango de nanolitros o microlitros. Este enfoque utiliza un *droplet* (gota) como microreactor en el que se llevan a cabo reacciones electroquímicas, empleando electrodos miniaturizados o estructuras integradas en plataformas microfluídicas. La técnica es especialmente valiosa para aplicaciones que requieren alta sensibilidad, como el análisis de biomoléculas, debido a la alta relación superficie-volumen que mejora la transferencia de masa y la eficiencia de las reacciones. Además, la medición en *droplet* reduce significativamente el consumo de reactivos y muestras de análisis, haciendo el análisis económico y sostenible. En esta etapa del proyecto se contribuyó a **desarrollar un sistema miniaturizado capaz de operar con muestras limitadas**, tales como las que se suelen obtener de fluidos biológicos.



- Pruebas en biofluidos: La sangre tiene una viscosidad considerablemente mayor que el agua, lo que afecta la transferencia de masa y la eficiencia de las reacciones electroquímicas. Esto puede ralentizar la respuesta del sensor o requerir mayores tiempos de medición. **La conductividad del electrodo** es un factor crítico en la eficacia de las mediciones electroquímicas y afecta directamente los problemas asociados con la detección de analitos en fluidos complejos como la sangre. Un electrodo de alta conductividad puede discriminar mejor entre analitos al mejorar la cinética de reacción de especies específicas, reduciendo el ruido de fondo causado por otras especies redox presentes en la sangre. En este proyecto se realizó un estudio comparativo de la influencia que las condiciones de grabado ejercen sobre la resistencia eléctrica del material, y con ello obtener propiedades de sensado favorables aún en dimensiones reducidas.
- Integración chip pretratamiento: la complejidad de los fluidos biológicos requiere en la mayoría de los casos el preprocesamiento de las muestras, lo que de forma convencional aumentaría el volumen de muestra requerida para completar el análisis; sin, embargo la miniaturización de los electrodos de detección realizadas en este proyecto facilitan la integración con sistemas microfluídicos, logrando sistemas de análisis más eficientes.





6.4 Efecto de la estabilidad química y mecánica de nanocompuestos inteligentes para aplicaciones biomédicas.

Introducción:

Los nanocompuestos inteligentes ofrecen un gran potencial en aplicaciones biomédicas debido a sus propiedades avanzadas. Este proyecto evalúa cómo la estabilidad química y mecánica de estos materiales influye en su desempeño y biocompatibilidad. Comprender estos efectos permitirá optimizar su diseño para mejorar su funcionalidad en dispositivos médicos y terapias avanzadas.

Objetivo General

Sintetizar nanocompuestos inteligentes de vidrio bioactivo (BG), óxido de grafeno (GO) y policaprolactona (PCL) para su uso como recubrimiento de prótesis y dispositivos biomédicos metálicos.

Objetivos Específicos

- Caracterizar cada componente en su forma original para conocer su química y morfología
- Funcionalizar químicamente el óxido de grafeno (GO) para mejorar su compatibilidad con el biovidrio (BG) mediante la incorporación de grupos funcionales adecuados.
- Evaluar mediante caracterización avanzada la interacción de los agentes de acoplamiento entre las fases del GO y el BG para asegurar una unión estable entre los materiales.
- Incorporar PLC de manera uniforme en la matriz BG-GO, para mejorar las propiedades mecánicas del material sintetizado.



- Caracterizar el nanocompuesto BG-GO-PLC para evaluar parámetros como la morfología, tamaño de partícula, distribución de fases y grado de unión entre los componentes mediante técnicas como microscopía electrónica (SEM/TEM), espectroscopía (FTIR, Raman) y difracción de rayos X (XRD).
- Analizar cómo la adición de GO y PLC afecta las propiedades mecánicas del nanocompuesto en comparación con el BG puro mediante pruebas de biocompatibilidad in-vitro.

Descripción

La búsqueda de nuevos materiales para aplicaciones biomédicas ha impulsado el desarrollo de nanocompuestos capaces de combinar propiedades mecánicas, químicas y biológicas que favorezcan la integración con tejidos biológicos. En este contexto, en CIMAV en los últimos años se han sintetizado diversos sistemas químicos formados a partir de la síntesis de nanocompuestos funcionales, los cuales a partir de una matriz de vidrio bioactivo (BG) son capaces de interactuar con líquidos simulados del cuerpo (SBF) **para formar in-situ los compuestos de hidroxiapatita**, los cuales son compatibles químicamente con el hueso humano. Esta aplicación se ha probado como recubrimientos nanocompuestos en sustratos metálicos de aleaciones de Titanio aprobados por FDA y de última generación (Ti6Al7Nb) para su uso en implantes biomédicos (prótesis intra-articulares de cadera, rodilla, tobillo, dentales). La tecnología propuesta es útil para recubrir otros metales utilizados en la industria biomédica como stents, placas y tornillos. Entre los sistemas estudiados recientemente se encuentran nanocompuestos de vidrio bioactivo (BG), policaprolactona (PCL) y óxido de grafeno (GO), además de Chitosan-BG-Ag, BG-PEEK-TiO₂.



La integración de estos materiales en un nanocompuesto busca aprovechar sus propiedades para aplicaciones avanzadas, como los recubrimientos de implantes. Los implantes requieren materiales que no solo sean biocompatibles y resistentes, sino que también previenen infecciones y promuevan la regeneración del tejido circundante. La presencia del vidrio bioactivo asegura una interacción eficaz con los tejidos duros, mientras que los biopolímeros como la PCL actúa como una matriz flexible que mejora la manejabilidad del material. Adicionalmente, el óxido de grafeno contribuye con su alta resistencia mecánica y su capacidad para reducir la proliferación bacteriana, características clave para garantizar la durabilidad y funcionalidad del implante.

La síntesis de este tipo de nanocompuestos requiere un control preciso sobre la integración de sus componentes para garantizar una distribución homogénea y una interacción óptima entre ellos. Diversos métodos han demostrado ser efectivos para la obtención de nanocompuestos con propiedades adecuadas para recubrimientos en implantes. Estas técnicas buscan optimizar las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y biológicas del material, haciéndolo ideal para aplicaciones biomédicas avanzadas.

En este proyecto, se está explorando la síntesis verde y sustentable usando métodos electroforéticos y la caracterización avanzada, evaluando su potencial como recubrimiento para implantes. Este enfoque busca no solo mejorar la integración y la funcionalidad del implante, sino también abrir nuevas oportunidades para el uso de nanomateriales inteligentes en el campo de la medicina regenerativa.

Resultados



Los implantes intra-articulares han sido objeto de numerosas investigaciones debido a los problemas asociados con su biocompatibilidad, cicatrización y longevidad en el cuerpo. Un reto significativo es lograr una adecuada integración del implante con los tejidos circundantes, minimizando la respuesta inmunológica y evitando la inflamación crónica que puede comprometer su funcionalidad.

- El desarrollo de nanocompuestos a base de biovidrio reforzado con óxido de grafeno y policaprolactona (PCL) surge como una alternativa prometedora.
- El biovidrio, conocido por su capacidad osteoconductora y bioactividad, ofrece una plataforma idónea para fomentar la integración ósea, mientras que la inclusión de óxido de grafeno proporciona mejoras mecánicas y propiedades antibacterianas.
- La policaprolactona, un polímero biodegradable, actúa como matriz flexible que permite controlar la liberación de agentes bioactivos y favorece la cicatrización. Sin embargo, aún se trabaja, como segunda etapa, en optimizar las proporciones y el procesamiento de estos componentes para garantizar no solo una buena biocompatibilidad, sino también un tiempo de cicatrización reducido y una adecuada estabilidad mecánica del implante intraarticular.

Relevancia

La relevancia del proyecto se basa en los logros del proyecto, buscando incidir en la sociedad mexicana, se han registrado 2.5 millones de casos de Osteoartritis como causa de invalidez en México, 160,000 casos de traumatismo atendidos por IMSS en 2021 y solamente 30,000 casos se sometieron a procedimiento médico para ser atendidos para instalación de una prótesis. La mayoría de los casos se instalan prótesis metálicas de acero inoxidable o en el mejor de los casos titanio grado



médico, sin embargo, los problemas asociados con el desajuste prematuro al poner en contacto un metal con un cerámico (hueso) limita el tiempo de vida útil a un cuarto del total que debería de perdurar el implante en uso en el cuerpo humano. Por tal motivo es imperativo, coadyuvar con este problema de salud pública en México al desarrollar un prototipo de prótesis recubierta que cumple con los requerimientos biológicos y funcionales y de bajo costo para la población mexicana. El proyecto ha sido presentado en un Pitch con inversionistas en un evento organizado por la Secretaría de Salud y el CONIMETI dentro de la Feria Nacional de Medicina Traslacional en la Ciudad de México. A la fecha la tecnología se ha probado que funciona a nivel Laboratorio, también se ha visualizado lo que podría patentarse en el corto plazo y lograr con ello definir el mejor mecanismo para su transferencia. Por tales motivos, el proyecto se posiciona en un Nivel de TRL 4 de Avance Tecnológico. Actualmente se están buscando recursos para avanzar de nivel de maduración tecnológica.





TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Transición Energética: Un Camino hacia un Futuro Sostenible

La transición energética es un proceso fundamental que busca transformar el sistema energético global, alejándose de fuentes de energía fósiles y contaminantes hacia alternativas más limpias y sostenibles. Este cambio es crucial para hacer frente a los desafíos del cambio climático, la seguridad energética, la salud pública y la sostenibilidad económica. En este contexto, se puede considerar la transición energética como un pilar para el desarrollo sostenible en el siglo XXI, considerando que no solo es cuestión técnica o económica, sino también ética y política, ya que está intrínsecamente ligada a la salud del planeta y el bienestar de las generaciones futuras.

1. Contexto del Cambio Climático

El cambio climático, impulsado principalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), ha llevado a una serie de fenómenos climáticos extremos, como sequías, inundaciones y olas de calor. Según informes del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), es imperativo limitar el aumento de la temperatura global a 1.5 grados Celsius para evitar consecuencias catastróficas. Esto requiere una reducción drástica y rápida de las emisiones de carbono, lo que hace que la transición energética sea una necesidad urgente.

2. Principales Componentes de la Transición Energética



La transición energética no es simplemente un cambio en la fuente de energía; implica una transformación completa de cómo producimos, distribuyamos y consumimos energía. Abarca múltiples dimensiones, incluyendo:

Ø Descarbonización: Este es el núcleo de la transición energética. La descarbonización implica reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y otros gases de efecto invernadero mediante la adopción de fuentes de energía renovables y la mejora de la eficiencia energética. Las tecnologías emergentes, como la captura y almacenamiento de carbono (CAC), también juegan un papel en la mitigación del impacto ambiental de las fuentes fósiles que aún se utilizan durante el periodo de transición.

Ø Eficiencia Energética: Incrementar la eficiencia en el uso de la energía contribuye significativamente a reducir el consumo general y las emisiones. Esto incluye desde tecnologías avanzadas en edificios y electrodomésticos hasta prácticas industriales que minimizan el desperdicio de energía.

Ø Almacenamiento y Redes Inteligentes: La intermitencia de la energía solar y eólica plantea retos en la gestión de la oferta y la demanda. El desarrollo de tecnologías de almacenamiento, como baterías avanzadas y sistemas de hidrógeno, es crucial. Además, las redes eléctricas inteligentes permiten gestionar el flujo de electricidad de manera más eficiente y flexible, integrando diversas fuentes de energía.

Ø Movilidad Sostenible: El transporte es uno de los sectores más difíciles de descarbonizar. La transición hacia vehículos eléctricos, el uso de biocombustibles sostenibles y la promoción del transporte público son estrategias fundamentales para reducir las emisiones en este sector.



- Ø Descentralización: Promoción de sistemas energéticos locales y autónomos, reduciendo la dependencia de redes centralizadas y vulnerabilidades asociadas.
- Ø Digitalización: Uso de tecnologías digitales y datos para optimizar la gestión y el consumo de energía, mejorando la eficiencia y promoviendo la innovación.

3. *Desafíos de la Transición Energética*

A pesar de sus beneficios, la transición energética enfrenta varios desafíos:

Inversión Financiera: Aunque los costos de las energías renovables han disminuido, la inversión inicial para la infraestructura necesaria sigue siendo alta. Los gobiernos y el sector privado deben colaborar en la financiación de proyectos sostenibles.

Regulación y Política: La creación de políticas efectivas y marcos regulatorios que fomenten la adopción de energías limpias es fundamental. Esto incluye incentivos fiscales, subsidios y regulaciones que promuevan la sostenibilidad.

Intermitencia y Almacenamiento: Muchas fuentes de energía renovable son intermitentes (como la solar y la eólica), lo que plantea desafíos para el almacenamiento y la gestión de la demanda. Tecnologías de almacenamiento, como baterías avanzadas.

4. *Beneficios de la Transición Energética*

La adopción de un modelo energético sostenible puede traer múltiples beneficios:

Reducción de Emisiones: Una transición exitosa puede disminuir significativamente la huella de carbono de una sociedad, contribuyendo a mitigar el cambio climático.

Seguridad Energética: Al diversificar las fuentes de energía y aumentar la producción local, se reduce la dependencia de combustibles fósiles importados,



mejorando la resiliencia económica.

Desarrollo Económico y Empleo: La creación de empleo en sectores de energías renovables supera con frecuencia la pérdida

5. Fuentes de Energía Renovable

Las energías renovables juegan un papel central en la transición energética. Algunas de las principales fuentes incluyen:

- *Energía Solar*: Utiliza paneles fotovoltaicos o térmicos para convertir la luz solar en electricidad o calor. Su potencial es inmenso, ya que el sol es una fuente abundante y gratuita de energía.
- *Energía Eólica*: Aprovecha la fuerza del viento para generar electricidad mediante aerogeneradores. Las instalaciones eólicas han crecido exponencialmente en las últimas décadas, convirtiéndose en una de las fuentes de energía renovable más competitivas.
- *Energía Hidroeléctrica*: Genera energía a partir del movimiento del agua. Si bien esta fuente es limpia, debe manejarse con cuidado para minimizar su impacto ambiental en ecosistemas acuáticos.
- *Biomasa y Biogás*: Utilizan materia orgánica para producir energía, ofreciendo una alternativa renovable al gas natural. Además, contribuyen a la gestión de residuos.
- *Geotermia*: Aprovecha el calor interno de la Tierra para generar energía. Esta fuente es constante y puede ofrecer una base sólida para el suministro energético.

6. Tecnologías Emergentes y la Fotocatálisis



Entre las tecnologías emergentes, la fotocatalisis está ganando atención por su potencial para producir hidrógeno a partir de agua, incluyendo el agua de mar, utilizando luz solar y la ciencia de materiales. Este proceso no solo podría proporcionar una fuente de energía limpia y renovable, sino que también podría ayudar en la desalinización del agua, abordando problemas de escasez de agua potable en muchas regiones. La producción de hidrógeno a partir de agua de mar mediante fotocatalisis representa un enfoque innovador y sostenible en la búsqueda de energías limpias.

7. Producción de Hidrógeno Fotocatalítico y Agua de Mar

El hidrógeno, un vector energético limpio y versátil, se ha posicionado como un elemento clave en este cambio energético, siempre que se produzca mediante métodos renovables. Sin embargo, la producción tradicional de hidrógeno sigue dependiendo en gran medida de los combustibles fósiles, lo que subraya la importancia de avanzar en tecnologías de "hidrógeno verde". Entre estas, destaca la producción fotocatalítica de hidrógeno impulsada por energía solar, que utiliza la luz del sol para separar el agua en hidrógeno y oxígeno. Aunque el agua dulce ha sido el recurso principal para estos procesos, su escasez plantea un desafío. Innovaciones recientes han dirigido la atención hacia el agua de mar—un recurso abundante y subutilizado—como alternativa. Actualmente, investigadores están desarrollando sistemas fotocatalíticos que aprovechan la energía solar para extraer hidrógeno directamente del agua de mar, superando su composición compleja y naturaleza corrosiva. Este avance no solo se alinea con los objetivos de energía sostenible, sino que también abre un camino hacia una producción de hidrógeno



escalable y ecológica, conectando la transición energética con la promesa de una economía del hidrógeno impulsada por el recurso más abundante de la Tierra: el océano.

Como muestra de lo anterior, se presentan un par de casos de éxitos desarrollados en el CIMAV:





6.5 Diseño y Síntesis de Absorbentes de CO_2 para la Producción de H_2 Azul por Reformación de CH_4

Introducción.

Este proyecto permitirá acelerar la transición al hidrógeno verde (de base solar, utilizando materiales avanzados mediante un proceso fotoinducido) mientras estas tecnologías alcanzan su plena madurez. Para ello, se aprovecharía la infraestructura energética ya instalada en México (como plantas de reformación de metano).

Esto permite mantener la continuidad productiva, reducir costos de reconversión y avanzar hacia la sostenibilidad sin depender exclusivamente de tecnologías emergentes.

Objetivo General

Desarrollar un absorbente sólido de CO_2 eficiente y económico, basado en dolomita modificada con metales alcalinotérreos (Sr y Ba), para optimizar la producción de hidrógeno azul mediante el proceso de reformación de metano con separación mejorada por sorción (SER).

Objetivos Específicos

1. Evaluar la incorporación de promotores (Ba y Sr) en dolomita: impregnación húmeda (WI) y molienda mecánica seca (DMM).
2. Determinar la capacidad de captura de CO_2 y estabilidad cíclica de los materiales modificados en condiciones de alta temperatura (700–950°C).
3. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los absorbentes mediante técnicas avanzadas (XRD, SEM, XPS, TGA).
4. Evaluar la mezcla de absorbentes sólidos de CO_2 y un catalizador de reformación ($\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$) en la producción de hidrógeno mediante el proceso de



reformación de metano con separación mejorada por sorción (SER) de forma cíclica.

Descripción

Este proyecto se centra en mejorar la dolomita, un mineral natural abundante y barato, compuesto por $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, como absorbente de CO_2 para aplicaciones en procesos SER para la producción de hidrógeno azul. La dolomita calcinada (CaO/MgO) presenta ventajas económicas y de disponibilidad, pero su capacidad de captura disminuye tras ciclos repetidos debido a la sinterización, además de que su cinética de regeneración a bajas temperaturas ($T < 700$) es muy lenta. Para superar esto, se incorporaron promotores de Sr y Ba (5%, 10%, 20% en peso) mediante WI y DMM. La DMM demostró ser superior al distribuir atómicamente el Sr en la estructura de CaO, estabilizando y mejorando su reactividad con CO_2 , mientras que se logró regenerar la dolomita a temperaturas tan bajas como los 600°C bajo una razonable cinética (actualmente, no reportada para este material). Las pruebas se realizaron en condiciones industriales simuladas (700°C para absorción en atmósfera de CO_2/Ar y $600\text{-}900^\circ\text{C}$ para regeneración en Ar), evaluando 15 ciclos consecutivos. La siguiente fase del proyecto se centrará en la evaluación de la producción de hidrógeno azul mediante la mezcla del absorbente obtenido con un catalizador de $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ bajo condiciones de reformación de metano (650°C , 1 atm) y vapor de agua para generar hidrógeno de alta pureza (98% H_2) en un solo paso de reacción.

Resultados



- **Absorbente óptimo:** Dolomita modificada con 10% en peso de Sr mediante DMM mostró una capacidad de captura de **0.5 g-CO₂/g-absorbente** tras 15 ciclos, con solo **5% de pérdida de capacidad**.
- **Técnica superior:** La DMM superó a la WI en estabilidad cíclica y reactividad, gracias a la integración estructural del Sr en la red de CaO, evitando la sinterización.
- **Caracterización:** El análisis XRD y XPS confirmó la incorporación sustitucional del Sr en CaO, mientras que SEM/STEM reveló una morfología estable sin degradación tras ciclos.
- **Evaluación:** Fue posible la regeneración del absorbente carbonatado a temperaturas inferiores a las reportadas en la literatura ($T < 700^{\circ}\text{C}$) bajo una atmósfera de aire.

Relevancia

Este trabajo aborda dos desafíos críticos en la transición energética:

1. **Reducción de emisiones:** Captura eficiente de CO₂ en procesos de producción de H₂, clave para descarbonizar sectores industriales.
2. **Economía circular:** Uso de materiales naturales y de bajo costo, accesibles para países en desarrollo.
3. **Innovación tecnológica:** Avances en diseño de absorbentes para procesos SER, facilitando su escalabilidad industrial.

Impacto

- **Ambiental:** Este proyecto reduce hasta un 70% las emisiones de CO₂ en la producción de hidrógeno gris mediante dolomita modificada con Sr como absorbente en procesos SER. Captura 0.5 g-CO₂/g-absorbente por ciclo, con solo



un 5% de pérdida tras 15 ciclos, permitiendo una reducción anual de 12 toneladas de CO₂ por tonelada de absorbente. Su menor temperatura de regeneración (600–900°C) disminuye el consumo energético en un 25%. Además, impulsa la economía circular, reduce la dependencia de tecnologías importadas y fortalece la transición al hidrógeno azul, alineándose con el Acuerdo de París y los ODS 7 y 13.

- **Tecnológico:** Los absorbentes de dolomita modificada con Sr, desarrollados mediante molienda mecánica seca (DMM), ofrecen alta estabilidad en la captura de CO₂ en condiciones industriales extremas. Mantienen un 95% de su capacidad tras 15 ciclos, superando la degradación de la dolomita no modificada. La clave de su eficiencia es la integración atómica del Sr en la red de CaO, que evita la sinterización y prolonga su vida útil. Su diseño modular facilita la implementación en infraestructuras existentes, reduciendo costos y mantenimiento, y promoviendo la captura de CO₂ como una solución escalable para industrias intensivas en emisiones.

- **Energético:** Acelera la transición al hidrógeno verde (producido con energías renovables) mientras estas tecnologías alcanzan su plena madurez. Para ello, aprovecha la infraestructura energética ya instalada en México (como plantas de reformación de metano), adaptándola con modificaciones innovadoras para funcionar como puente estratégico hacia una economía baja en carbono. Esto permite mantener la continuidad productiva, reducir costos de reconversión y avanzar hacia la sostenibilidad sin depender exclusivamente de tecnologías emergentes.



- **Económico:** Reduce hasta un 40% los costos operativos al sustituir absorbentes sintéticos por dolomita modificada, un material natural, abundante y de bajo costo. Su mayor estabilidad térmica y resistencia al desgaste (validada en 15 ciclos consecutivos) minimiza el reemplazo frecuente, mientras que las temperaturas de regeneración optimizadas (600 °C vs. 900 °C en métodos tradicionales) disminuyen el consumo energético en un 33%, según simulaciones de proceso.

Alcance a Largo Plazo

Implementar tecnologías sostenibles de producción de H_2 y captura de CO_2 a escala global, posicionando a la dolomita modificada como estándar en procesos SER. Esto impulsaría la transición hacia una economía verde, especialmente en regiones con recursos limitados.

Colaboraciones

- **CIMAV** (Centro de Investigación en Materiales Avanzados), **UACH** (Universidad Autónoma de Chihuahua), **UJED** (Universidad Juárez del Estado de Durango), **UTSH** (Universidad Tecnológica de la Sierra Hidalgo).



6.6 Estudio de compósitos $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ como fotocatalizadores para la generación de hidrógeno verde a partir de agua de mar.

Objetivo general:

Sintetizar los materiales prístinos de $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, SiO_2 y TiO_2 , y los compósitos de $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ y $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$; caracterizar sus propiedades texturales, estructurales, químicas y optoelectrónicas; evaluar su producción de hidrógeno mediante la separación fotocatalítica del agua para comparar los resultados obtenidos de los materiales en fase pura con respecto de los compósitos y en agua pura respecto a agua de mar (NaCl al 3.5%).

Objetivos específicos:

- Sintetizar $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, SiO_2 y TiO_2 mediante los métodos de co-precipitación, Stöber y sol gel, respectivamente.
- A partir de $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, generar los compósitos de $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ y $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ mediante los métodos de Stöber y sol gel, respectivamente.
- Caracterizar las propiedades estructurales, texturales, químicas y electrónicas mediante las técnicas de XRD, BET, TGA, ICP-OES, microscopía electrónica (SEM y TEM) voltamperometría cíclica y espectroscopía UV-Vis.
- Evaluar y comparar la actividad fotocatalítica de los materiales prístinos y compósitos, tanto en agua pura como en agua de mar simulada (NaCl al 3.5%).

Descripción:

Este proyecto se centra en la investigación y desarrollo de compósitos fotocatalíticos basados en $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (hematita), SiO_2 (dióxido de silicio) y TiO_2 (dióxido de titanio),



con el objetivo de evaluar la producción de hidrógeno a partir de agua de mar mediante el uso de energía solar. La generación de hidrógeno es una de las vías más prometedoras para almacenar y utilizar energía renovable, y su producción a partir de agua de mar representa una alternativa sostenible frente a los desafíos de escasez de agua dulce.

Los compósitos $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ y $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ son diseñados para combinar las propiedades fotocatalíticas de cada uno de sus componentes, con el fin de optimizar la eficiencia del proceso de fotocatálisis. $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ es conocido por su actividad en la fotocatálisis visible, mientras que TiO_2 y SiO_2 mejoran la estabilidad, la absorción de luz y la transferencia de carga en el proceso fotocatalítico. La combinación de estos materiales busca maximizar la producción de hidrógeno y mejorar la durabilidad de los fotocatalizadores.

La metodología utilizada en este estudio consistió en la síntesis de compósitos $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ y $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$, así como en la obtención de los materiales prístinos $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, SiO_2 y TiO_2 , empleando para ello los métodos de coprecipitación, Stöber y sol-gel, respectivamente. Tanto los materiales prístinos como los compósitos fueron caracterizados mediante diversas técnicas, principalmente: XRD, TGA, SEM, TEM, BET, UV-Vis, ICP-OES y CV. La actividad fotocatalítica de los materiales fue evaluada en términos de la producción de hidrógeno, utilizando cromatografía de gases y empleando tanto agua pura como agua de mar simulada. Los resultados mostraron una mejora significativa en la actividad fotocatalítica de los compósitos en comparación con los materiales prístinos. Además, se observó un notable aumento en la producción de hidrógeno cuando se utilizó agua de mar simulada en todos los casos.

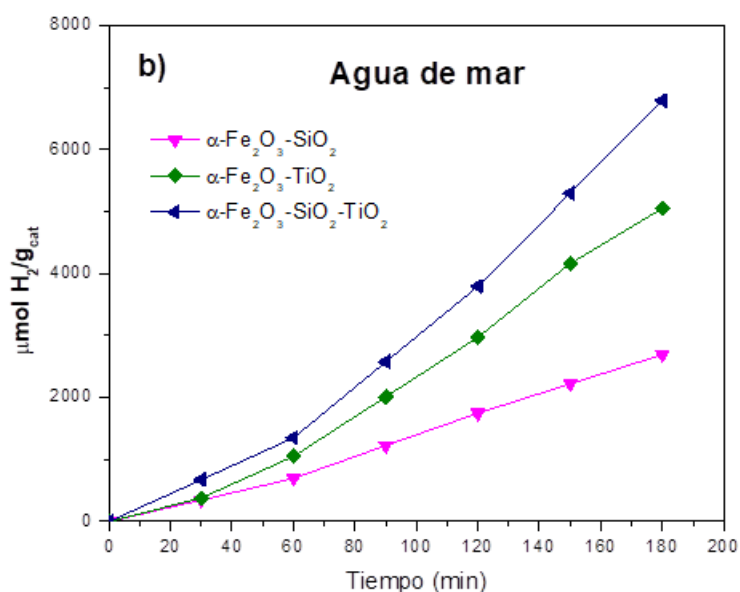
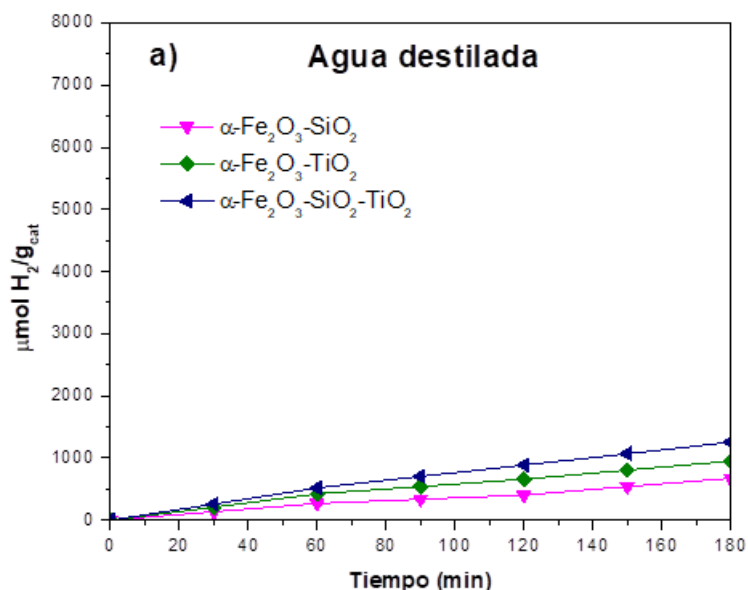


Resultados:

Los materiales prístinos y los compósitos fueron sintetizados con éxito, sin la presencia de fases adicionales, presentando una morfología esférica, con un tamaño de partícula aproximado entre 100 y 10 nm, siendo la anatasa el único material mesoporoso. Las áreas específicas de superficie (BET) de los materiales variaron entre 39 y 126 m²/g. Los compósitos y la hematita exhibieron absorción de luz en el espectro de luz visible, a diferencia de la anatasa.

Estudio de compósitos α -Fe₂O₃ -SiO₂ -TiO₂ como fotocatalizadores para la generación de hidrógeno verde a partir de agua de mar

En la Figura 1 se muestran las actividades fotocatalíticas para la producción de H₂ de los compósitos a los 180 minutos de seguimiento de reacción, en el inciso a, se muestra la gráfica de las actividades con agua destilada y en el inciso b las actividades para los compósitos con agua de mar.



La tabla 1, muestra una comparativa de las actividades fotocatalíticas de los compósitos para la producción de H_2 a las 3, 8 y 24 horas, así como el incremento de la actividad fotocatalítica con agua destilada y con agua de mar.

Tabla 1 Comparativa de los valores de producción fotocatalítica de hidrógeno a las 3, 8 y 24 horas de los compósitos

Material	Producción de hidrógeno ($\mu\text{mol H}_2/\text{g}_{\text{cat}}$)							
	3 horas		Incremento veces	8 horas		Incremento veces	24 horas	
	Agua destilada	Agua de Mar		Agua destilada	Agua de Mar		Agua destilada	Agua de Mar
$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	674	2690	4.0	1980	7680	3.9	5844	24480
$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$	952	5055	5.3	2772	12984	4.7	6972	27192
$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$	1255	6790	5.4	4056	15408	3.8	9228	31956

La actividad fotocatalítica con agua de mar muestra un incremento considerable en los valores obtenidos para la producción de H_2 . Los iones Na^+ y Cl^- pueden facilitar las reacciones redox que ocurren en la superficie del catalizador, sobre todo en concentraciones bajas y condiciones neutras o alcalinas. Los iones Na^+ fortalecen los puentes de hidrógeno entre el agente de sacrificio y los grupos hidroxilo en la superficie del TiO_2 , permitiéndole reaccionar con los huecos fotogenerados antes de que los huecos reaccionan con los iones OH^- presentes en el medio. De igual manera, el ion Cl^- presenta una tendencia a ser oxidado por los huecos presentes en la banda de valencia, evitando que los electrones y huecos se recombinen antes de participar en reacciones químicas. Además, la presencia de estos iones inorgánicos, contribuyen a disminuir los defectos en la superficie de los materiales semiconductores, los cuales suelen actuar como centros de recombinación de los electrones y huecos fotogenerados.

En el histograma de la Figura 2 se puede apreciar la comparativa de la producción de hidrógeno de los compósitos a los 180 minutos con agua destilada y con agua de mar. Con agua de mar simulada, la producción de hidrógeno aumentó otras 5 veces más con todos los fotocatalizadores en comparación con el uso de agua pura, sin

embargo, en el histograma los incrementos se pueden observar representados de una forma más clara en términos cuantitativos.

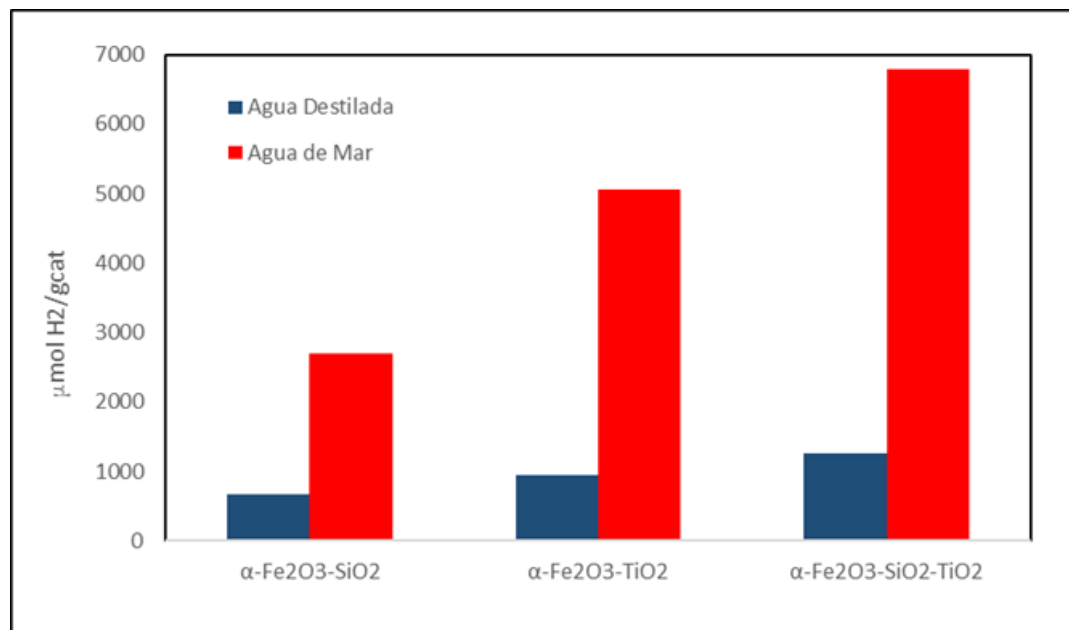


Figura 2. Comparativa de producción total de hidrógeno a los 180 minutos con agua destilada y con agua de mar.

Adicionalmente, los materiales sintetizados en el proyecto son de fácil acceso y de bajo costo. Además, poseen un band gap que se encuentra situado en el espectro de luz visible, esto principalmente debido a la incorporación de la hematita en estructura core shell junto con la titania y sílice amorfa, lo cual mejora la dispersión del material, brinda estabilidad térmica y aumenta la resistencia de la solución salina.

Este proyecto fue acreedor a un primer lugar por su relevancia en el tema en World Hydrogen Energy Conference 2024, así como ser seleccionado para publicar en la revista International Journal Hydrogen Energy.

Relevancia:



El hidrógeno verde, generado mediante la descomposición fotocatalítica del agua utilizando energía renovable, es considerado una de las soluciones más prometedoras para la transición hacia un sistema energético libre de carbono. La generación de hidrógeno a partir de agua de mar representa una alternativa disruptiva, ya que aprovecha un recurso abundante y accesible, minimizando la presión sobre los recursos de agua dulce, que son cada vez más escasos. Este proyecto busca optimizar este proceso mediante el uso de fotocatalizadores avanzados, lo que podría hacer más viable y eficiente la producción de hidrógeno de manera ecológica.

La combinación de $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, SiO_2 y TiO_2 en compósitos ofrece un enfoque innovador para mejorar la eficiencia de los procesos fotocatalíticos. Estos materiales son conocidos por sus propiedades óptimas en la absorción de luz y en la separación de cargas fotogeneradas, lo que incrementa la actividad fotocatalítica. Al mejorar la eficiencia de la fotocatálisis, este proyecto tiene el potencial de reducir los costos y aumentar la viabilidad de la producción de hidrógeno verde.

La implementación de tecnologías de hidrógeno verde podría impulsar una nueva industria energética, generando empleo especializado y fomentando el desarrollo de nuevas tecnologías. Este tipo de proyectos contribuye a la diversificación de la matriz energética y a la independencia de fuentes de energía no renovables, lo que podría tener un impacto positivo en la economía a nivel local y global. Asimismo, el proyecto tiene el potencial de abrir nuevas líneas de investigación en el campo de la fotocatálisis y los materiales avanzados. Además, al integrar procesos basados en energía solar y materiales ecológicos, contribuirá a la innovación dentro del sector



de las energías renovables, ofreciendo alternativas sostenibles y eficientes para la producción de hidrógeno.

Impactos

Ambiental: Se aporta a la reducción de emisiones de CO₂ y al aprovechamiento del agua salina en procesos sostenibles, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, específicamente el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y ODS 13 (Acción por el clima), para promover un desarrollo sustentable.

Tecnológico: Los compósitos permiten el desarrollo de fotorreactores que optimizan la absorción de luz y por lo tanto son capaces de abastecer la demanda energética en diversos sectores tales como el doméstico y el industrial.

Energético: La fotocatalisis para la división del agua ofrece una vía sostenible para la producción de hidrógeno, reduciendo el consumo energético en comparación con otros métodos para la obtención de energía tales como el water splitting termoquímico o el fotobiológico.

Económico: El uso de materiales abundantes y métodos de síntesis escalables reduce los costos operativos, haciendo viable su aplicación industrial.



6.7 Desarrollo de recubrimientos de óxidos simples (MO, M: Zn, Cu, Fe) utilizando técnicas fotoquímicas sobre sustratos flexibles para generación de combustibles solares

Objetivo general:

Desarrollar una metodología para la obtención de óxidos semiconductores por química suave sobre sustratos flexibles que muestren resistencia frente a la irradiación prolongada de luz solar. De manera que impulse la implementación de las tecnologías fotocatalíticas para la generación de químicos verdes y combustibles solares que coadyuven a la descontaminación ambiental.

Objetivos específicos:

- Se desarrollaron películas de óxidos simples (ZnO, CuO, FeO) utilizando técnicas fotoquímicas sobre sustratos flexibles.
- Se caracterizaron las propiedades fisicoquímicas de los recubrimientos utilizando XRD, UV-Vis, PL, SEM, y AFM
- Se evaluó la resistencia de los recubrimientos obtenidos a la exposición de irradiación prolongada de luz, mediante pruebas de envejecimiento acelerado.
- Se determinó el desempeño de los recubrimientos en la producción fotocatalítica de hidrógeno.
- Se estudiaron los productos obtenidos en fase líquida (ácido fórmico) de la foto-reducción de CO₂ de los recubrimientos.
- Se correlacionaron los desempeños con sus propiedades fisicoquímicas.

Descripción del Proyecto:

La fotocatalisis se ha vuelto de gran interés ambiental en los últimos años. Diversos materiales semiconductores han sido ampliamente estudiados para aplicaciones de



descontaminación de aire y agua, así como en la desinfección de superficies debido a sus propiedades antibacteriales. Sin dejar atrás su desarrollo en el aprovechamiento de la energía solar; que tiene por objetivo la captación de la luz para su transformación mediante la reducción de CO_2 en combustibles, los cuales son ampliamente compatibles con la infraestructura actual para la generación de energía. La clave de este proceso recae en las propiedades fisicoquímicas de los materiales utilizados como fotocatalizadores.

Además de las propiedades del material, el diseño de éstos tiene que tomar en cuenta un proceso de elaboración práctico, de bajo costo y de producción rápida que cumpla con la demanda de la sociedad actual. Una manera previsible para realizar sistemas que ataquen de manera eficiente este desafío es a través del uso del depósito de recubrimientos fotocatalizadores sobre sustratos flexibles a bajas temperaturas. Este tipo de procesos comúnmente son llamados “roll to roll” o de rollo a rollo. Existen diversos polímeros de bajo costo y fácil acceso que pueden ser utilizados para este tipo de procesos. Sin embargo, la termo-sensibilidad de los sustratos poliméricos es un reto para obtener recubrimientos de óxidos que usualmente se obtienen a altas temperaturas.

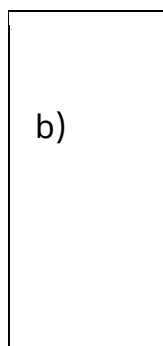
Es posible tomar ventaja de la versatilidad de los métodos de química suave para evitar un tratamiento térmico durante la elaboración del recubrimiento. En el presente proyecto se desarrollaron recubrimientos de óxidos simples (CuO , ZnO , Fe_2O_3) sobre diversos sustratos flexibles. Utilizando métodos de química suave asistido con fotoquímica, los cuales fueron evaluados para conocer su durabilidad a la irradiación prolongada de luz y su desempeño en la obtención de combustibles solares.



Resultados:

Las películas de ZnO se prepararon mediante un método sencillo y de bajo costo utilizando una solución precursora organometálica e irradiación para la cristalización de óxido sobre un sustrato flexible. Se utilizó un método de hidrofiliación y una capa SiO₂ para mejorar la adherencia de las películas del ZnO. Los resultados de XRD mostró solo una señal característica del óxido. Mientras tanto, en los análisis de Uv-Vis se observó un aumento en la absorción de luz al aumentar el tiempo de irradiación de luz Uv para la cristalización, lo que puede sugerir la formación de la red Zn-O. La producción más alta de hidrógeno fue de 6 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2 \text{ h}$, que es una producción competitiva en comparación con los resultados reportados en la literatura. Además, se exploró la síntesis de películas de CuO sobre acetato de celulosa por SILAR. Se obtuvieron deposiciones de óxidos de cobre con energías de banda prohibida entre 2.63 y 1.88 eV, con morfologías que proveen grandes áreas superficiales, y estructuras amorfas. Se obtuvo una producción de ácido fórmico de 400 ppm (Fig 1), éstos resultados se atribuyen a las propiedades únicas que presentan estas muestras.

- Presentar el tamaño de cristal más pequeño (9,19 nm)
- Finalmente muestran una red O ads/O más baja.



a)

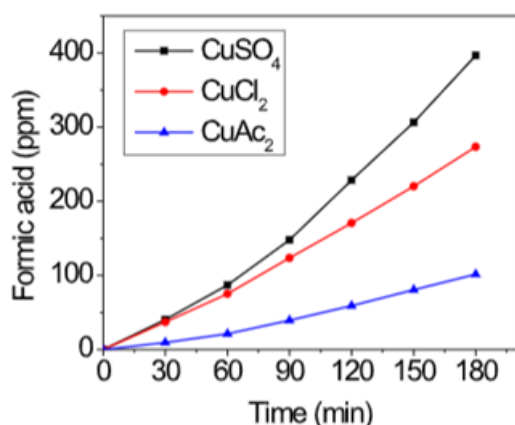


Figura 1. A) Producción de ácido fórmico películas CuO por SILAR, b) Análisis de XPS de películas de CuO preparadas con CuSO₄

Relevancia:

Este proyecto es de gran relevancia debido a su potencial para avanzar en la producción de combustibles solares, contribuyendo a la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. Es conocido que el vínculo entre la energía y el cambio climático es muy fuerte. El cambio climático pone en riesgo la salud, la seguridad alimentaria y energética, así como el acceso al agua de millones de mexicanos. Es por ello que se debe invertir en el



desarrollo de tecnologías que utilicen energías renovables, que reduzcan el uso de estos combustibles. Para la sustitución gradual de los combustibles fósiles, es necesario la obtención de combustibles compatibles con la infraestructura de distribución de energía actual, con neutralidad en sus emisiones. Esto se puede lograr mediante la obtención de combustibles solares a través de la reducción de CO_2 utilizando fotocátalisis heterogénea. Proceso que aprovecha las propiedades de un material semiconductor que al ser irradiado con luz genera los potenciales necesarios para llevar a cabo las reacciones de interés, a temperatura ambiente y presión atmosférica. Este proyecto busca generar conocimiento para la producción práctica, de bajo costo y fácil acceso de materiales semiconductores utilizando tecnologías escalables. De manera que impulsen la implementación de este tipo de tecnologías en la sociedad para coadyuvar a la descontaminación ambiental.

