

QUÍMICA VERDE
Química Verde



UNAM
Nuestra gran
Universidad



IER
Instituto de Energías
Renovables

Año 2, Número 1, Septiembre - Diciembre 2024
Publicada el 2 de Diciembre de 2024

La Renovable

**Química verde:
fabricando tecnología más limpia
para las energías renovables**

**Manual para construir un monitor
de dióxido de carbono**

**Aprendiendo de física del estado
sólido de la materia con Julia
Tagüeña**

**Innovadoras Técnicas de Oxidación
en el tratamiento de aguas
residuales**



Directorio UNAM

Rector

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

Secretaria Académica

Dra. Patricia Dolores Dávila Aranda

Secretario Administrativo

Mtro. Tomás Humberto Rubio Pérez

Secretaria de Desarrollo Institucional

Dra. Diana Tamara Martínez Ruiz

Coordinadora de la Investigación Científica

Dra. María Soledad Funes Argüelles

Instituto de Energías Renovables

Directora

Dra. Marina Elizabeth Rincón González

Secretario Académico

Dr. Miguel Robles Pérez

Secretaria de Gestión e
Innovación Tecnológica

Lic. Celeste Morales Santiago

Jefa de la Unidad de Comunicación de la Ciencia

Lic. Daniela Paulina Juárez Bahena

La Renovable

Editora

Mtra. Nicté Yasmín Luna Medina

Asistente Editorial

Mtro. Carlos David Leal Fulgencio

Consejo Editorial

Dra. Dulce María Arias Lizárraga, Dr. Guillermo Barrios del Valle,
Dr. Sergio Cuevas García, Dr. Mariano López de Haro,
Dr. Eduardo Ramos Mora y Dr. Jesús Antonio del Río Portilla.

Diseño

Mtra. Nicté Yasmín Luna Medina

La Renovable, Publicaciones UNAM, es una publicación cuatrimestral numerada del Instituto de Energías Renovables de la UNAM. Editor responsable: Nicté Yasmín Luna Medina, nicte@ier.unam.mx.

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título ante el Instituto Nacional de Derechos de Autor de la Secretaría de Educación Pública 04-2023-012010580600-102. Revista digital: www.ier.unam.mx. Año 2, Número 1, Septiembre - Diciembre 2024.

Los artículos firmados son responsabilidad del autor o de la autora por lo que el contenido de los mismos no refleja necesariamente el punto de vista de la UNAM.

Prohibida la reproducción parcial o total del contenido por cualquier medio sin la autorización expresa de las personas editoras.



Contenido

**Química verde:
fabricando tecnología más limpia
para las energías renovables** 5

Nicté Luna

**Manual para construir un
monitor de dióxido de carbono** 8

Juan Manuel Valero

**Aprendiendo de física del estado
sólido de la materia con Julia Tagüeña** 11

Nicté Luna

**Innovadoras Técnicas de
Oxidación en el tratamiento
de aguas residuales** 14

Juan Manuel Valero





PRESENTACIÓN

En este número encontrarás cuatro textos con diversas temáticas, aunque dos de ellos se centran en cómo hacer ciencia más limpia.

Te presentamos un artículo que nos cuenta sobre cómo se está trabajando en la química para fabricar celdas solares mediante procesos más limpios y sustentables: la química verde.

Por otro lado, conocerás del desarrollo tecnológico que se realizó en el Instituto de Energías Renovables cuando nos disponíamos a retomar la presencialidad luego de la pandemia de COVID-19: monitor dióxido de carbono.

Asimismo, conocerás sobre el desarrollo de una disciplina de la física que hoy en día es sumamente relevante: la física del estado sólido.

Finalmente, conocerás los métodos más innovadores que se investigan para el tratamiento de aguas residuales.

Esperamos que disfrutes la lectura de cada uno de los textos aquí presentes.

Mtra. Nicté Luna
Editora



Química verde: fabricando tecnología más limpia para las energías renovables

Nicté Luna
nicte@ier.unam.mx

Aprovechar las fuentes de energía renovables para generar energía limpia implica el desarrollo de diferentes tecnologías. Si bien estas contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (como el dióxido de carbono) durante la producción de electricidad, en su proceso de fabricación se generan desechos con un gran impacto ambiental en el agua y el suelo.

Los métodos químicos para la producción de materiales, como la síntesis hidrotermal, la síntesis química solvotérmica, la electrodeposición química, la deposición de baño químico y el recubrimiento por centrifugación, utilizan reactivos, disolventes y materiales auxiliares que se consideran contaminantes. En 1991, los investigadores P. Anastas y J. Warn publicaron los 12 principios de la química verde, cuyo objetivo es reducir al mínimo o eliminar el uso de sustancias nocivas en los procesos químicos.

En la actualidad, estos principios son relevantes para la investigación y el desarrollo de tecnologías en el área de las energías renovables.

“La celda solar es una tecnología que genera energía limpia y no tiene un impacto ambiental durante la producción de electricidad; sin embargo, durante el proceso de fabricación se generan desechos que contaminan el agua, el suelo e incluso el aire. Pero podemos sustituir algunos compuestos que se usan en el proceso de síntesis de materiales por otros que sean menos contaminantes”, comentó el Dr. Sebastián Joseph P., investigador del Instituto de Energías Renovables de la UNAM.

Desde esta perspectiva, se pueden fabricar cualquiera de las capas que conforman una celda solar (semiconductor tipo N, tipo P, capa interfacial) con una menor huella ecológica.

“La síntesis verde se suele utilizar para producir compuestos como el óxido de titanio, el telurio de cadmio, el cobre-indio-selenio, el cobre-indio-galio-selenio, las perovskitas o las queritas que se utilizan para fabricar la celda solar”; añadió el reconocido investigador del IER-UNAM.



La síntesis verde busca fabricar materiales más limpios para las celdas solares

De acuerdo con el académico de la UNAM, el óxido de titanio ha sido uno de los materiales producidos mediante biosíntesis basado en un extracto de planta; este ha funcionado bien debido a sus propiedades eléctricas, mecánicas, ópticas e incluso por su morfología y porosidad.

El grupo liderado por el Dr. Sebastián Joseph ha implementado la química verde en sus experimentos desde hace diez años. Desde entonces, buscan utilizar la biomasa disponible que no represente un conflicto con las necesidades alimentarias de la población para generar materiales y energía.

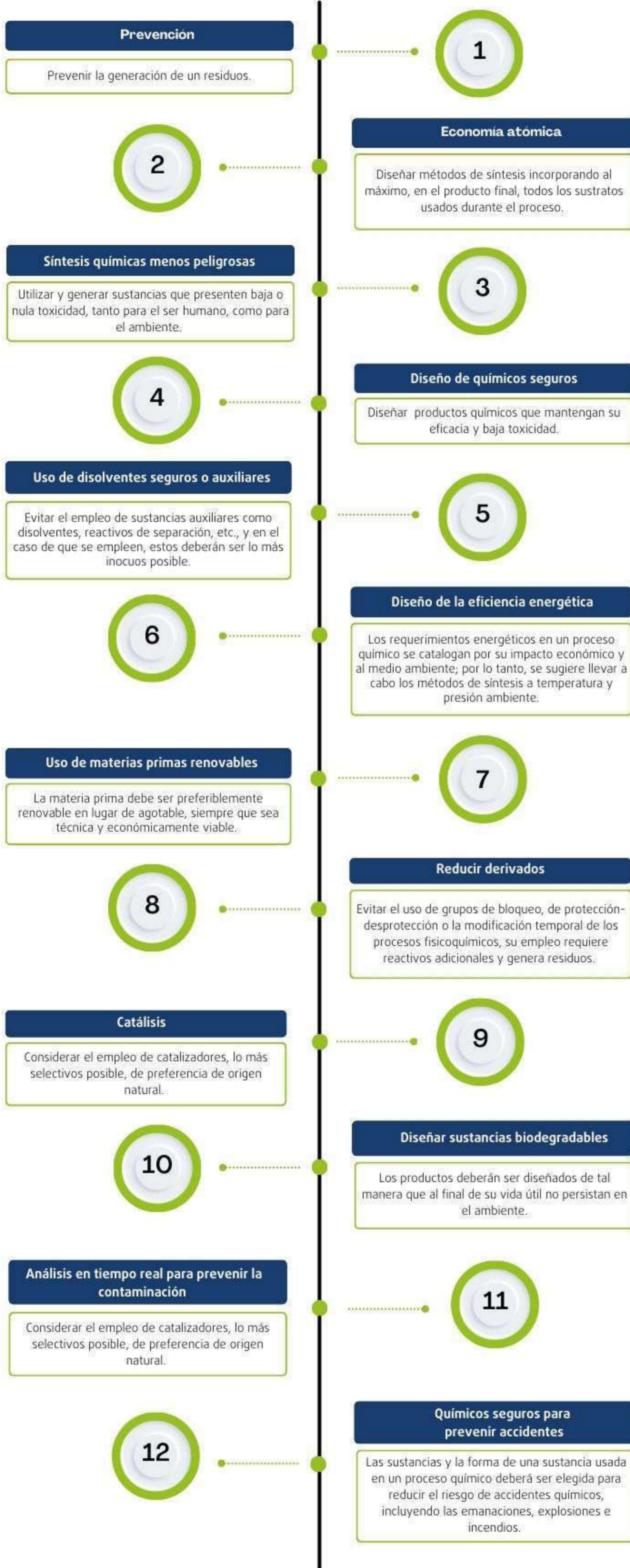
“Nuestra filosofía es una economía circular y la biorefinería. Nos basamos en un producto agroindustrial o agrícola para obtener catalizadores y materiales de valor agregado; buscamos aprovechar todo para no dejar ningún desecho”, añadió.

Están desarrollando aplicaciones como celdas solares, producción de hidrógeno, biodiésel, bioetanol y biogás, aprovechando biomasa como cáscaras o los desechos agrícolas que deja el cultivo de maíz y poniendo en práctica los principios de la química verde.

Lecturas recomendadas

Reyes-Vallejo, O., Torres-Arellano, S., Aleman-Ramirez, J. L., & Sebastian, P. J. (2024). Green chemical synthesis of photovoltaic materials. En S. Sundaram (Ed.), *Photovoltaics beyond silicon* (pp. 405-435). Elsevier.

12 principios de la química verde



Referencia:
Anastas, P., & Eghball, N. (2009). Green chemistry: Principles and practice. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 301-312.
Adaptación de Nicté Luna



Manual para construir un monitor de dióxido de carbono

Juan Manuel Valero

En la era post-pandémica, la calidad del aire en espacios cerrados ha cobrado una relevancia sin precedentes. La necesidad de garantizar ambientes saludables y bien ventilados se ha convertido en una prioridad, especialmente en instituciones educativas y lugares de trabajo.

En este contexto, Carlos Leonardo Velázquez Zúñiga, Héctor Daniel Cortés González (El Turbo) y Jesús Antonio del Río Portilla desarrollaron en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM

un innovador monitor de dióxido de carbono (CO₂) que promete transformar la manera en que monitoreamos y gestionamos la calidad del aire en diversos entornos.

¿Doctor del Río cómo surge la idea de construir un monitor para medir la concentración de CO₂?

El proyecto surge como respuesta a la necesidad de evaluar la ventilación adecuada en los salones de clase tras la pandemia de COVID-19. Queríamos saber cómo estaba la densidad de dióxido de carbono en los salones y con eso medir indirectamente la probabilidad de que hubiera contagios.

Este monitoreo es crucial, ya que altos niveles de CO₂ pueden indicar una ventilación insuficiente, lo que aumenta el riesgo de transmisión de enfermedades respiratorias.

El monitor desarrollado es un dispositivo compacto y de bajo costo que mide no sólo los niveles de CO₂, sino también la temperatura y la humedad relativa. Su diseño se basa en componentes de hardware y software abiertos, lo que facilita su construcción y personalización.

Es un artefacto muy pequeño. ¿Podrías describirlo?

El monitor consta de dos placas que albergan una pantalla tipo papel, donde se visualizan las lecturas en tonos negro y blanco.

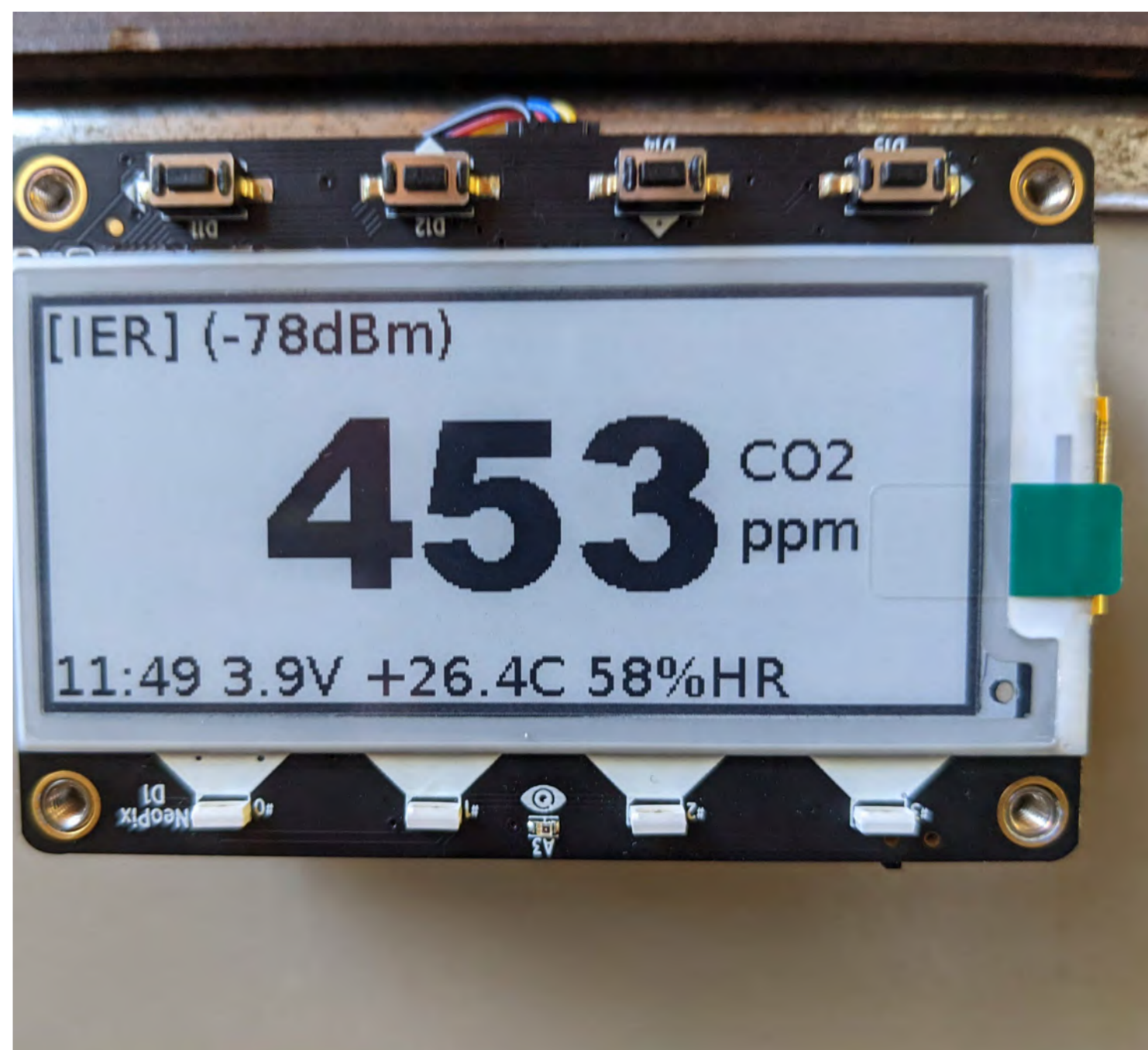
Su tamaño es reducido, aproximadamente 6 cm por 2 cm por 3 cm, y está equipado con imanes que permiten fijarlo con facilidad en superficies metálicas. Es un artefacto que no necesita una carcasa; sólo son dos placas con conectores, y lo vamos armando como si fuera un rompecabezas.

Una de las principales ventajas de este monitor es su facilidad de ensamblaje. “La mayoría de los componentes electrónicos requieren soldadura, pero este sensor no necesita soldarse. Solo tienes que ensamblar las piezas como si fueran legos pequeños”, explica.

Además, el tiempo estimado para su construcción es mínimo, alrededor de una hora, siempre y cuando se cuente con todos los componentes necesarios.

Antonio, pláticanos sobre las aplicaciones de este singular aparatito.

El uso de hardware y software abiertos no sólo reduce los costos, sino que también democratiza el



Fografía 1. Pequeño monitor de dióxido de carbono, construido en el IER.

acceso a la tecnología. Cualquier persona interesada puede construir su propio monitor de CO2 siguiendo las instrucciones disponibles en línea.

“El placer de armar algo, el placer de bajar un código, programarlo para decir cómo se ponen las cosas, qué letras aparecen, creo que no tiene comparación”, comentó el doctor del Río.

Además de su uso en aulas, este monitor tiene aplicaciones en oficinas y otros espacios cerrados donde es crucial mantener una buena calidad del aire.

“Puede ser utilizado para medir la contaminación de virus de cualquier especie gripal o para ver si debemos ventilar porque la gente se está durmiendo durante las clases”, menciona.





¿Qué otros beneficios brinda el monitor? **Un comentario final.**

El proyecto no sólo se enfoca en la salud pública, sino también en la sostenibilidad ambiental. El uso de componentes de hardware abierto y software libre fomenta una cultura de colaboración y reutilización de recursos, alineándose con los principios de la economía circular.

Además, el monitor puede integrarse con otros sensores para ampliar sus capacidades, como medir ozono y partículas suspendidas, lo que lo convierte en una herramienta versátil para el monitoreo ambiental.

Doctor del Río, pláticanos sobre el Manual para construir un monitor de dióxido de carbono, que acaban de publicar.

“Para facilitar la difusión de cómo construir estos monitores, el equipo del IER publicó un manual detallado disponible en línea a través de Libros de libre acceso de la UNAM.

“El manual está disponible para todo el mundo en formato PDF, para cualquier dispositivo con acceso a Internet.

“El manual permitirá a estudiantes, investigadores y entusiastas de la tecnología replicar y personalizar el monitor, según sus necesidades específicas.”

“El desarrollo del monitor de dióxido de carbono representa un avance significativo en el campo del monitoreo ambiental y la salud pública. Su enfoque en la accesibilidad, sostenibilidad y colaboración abierta democratiza el acceso a la tecnología.

“Proyectos como este demuestran cómo la investigación académica puede tener un impacto tangible y positivo en la sociedad, ofreciendo soluciones prácticas a desafíos contemporáneos.”

La invitación del doctor del Río a la comunidad para participar en la construcción y utilización de estos monitores es un llamado a la acción para todos aquellos interesados en contribuir a la mejora de la calidad del aire y la sostenibilidad ambiental.

“Es un ganar-ganar para todos los involucrados y no involucrados en el proyecto.”, concluyó el doctor Antonio del Río.

Aprendiendo de física del estado sólido de la materia con Julia Tagüeña

Nicté Luna

Una plática con Julia Tagüeña, investigadora emérita del Instituto de Energías Renovables de la UNAM, siempre va a resultar ilustrativa y el buen humor no va a faltar. En esta ocasión compartí un rato con ella para que nos hablara sobre una de las disciplinas de la física: el estado sólido de la materia. En las siguientes líneas aprenderemos un poco de qué es, sus orígenes y la tendencia actual de esta línea de investigación.

Empecemos platicando de qué se estudia en el campo de conocimiento de la física del estado sólido.

Es la rama de la física que estudia a los sólidos y sus propiedades, usando disciplinas como mecánica cuántica, electromagnetismo, óptica y cristalografía. Se dice que reconoces un sólido porque te duele un pie cuando lo pateas.

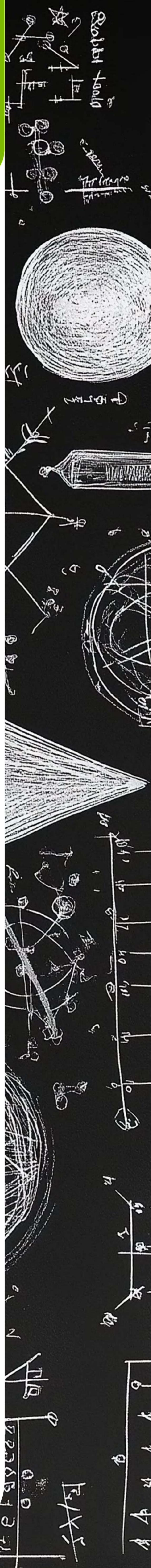
Hablando sobre el reconocimiento que te otorgaron más recientemente, cuéntanos, ¿quién lo otorga? ¿Qué significa para ti haberlo recibido?

La Sociedad Mexicana de Física (SMF) contiene divisiones según la línea de investigación de que se trate y una de ellas, a la que pertenezco, es la División de Estado Sólido. Además del congreso de la SMF, existen reuniones de las divisiones, en las que se suele otorgar reconocimientos por alguna labor destacada de sus participantes. Este año tuve el honor de recibir el “Reconocimiento de la División de Estado Sólido, de la Sociedad Mexicana de Física por la importante contribución a la Ciencia en México, en particular por su gran contribución a la Física del Estado Sólido”, en la reunión del 12 de junio de 2024, en Xicotepec, Puebla.

Un reconocimiento es siempre un motivo de satisfacción, de labor cumplida. Si además ese reconocimiento viene de tus colegas, es todavía más emocionante.

Cuéntanos un poco de la historia de esta disciplina, ¿sus orígenes y las razones de por qué adquiere relevancia en el mundo?

Justamente, después de la ceremonia de entrega del reconocimiento, tuve la oportunidad de ofrecer una conferencia. Escogí como tema “La física del estado sólido: un poco de historia”. Primero hablé de cómo nació esta disciplina en el mundo, a partir de los grandes avances de la física del siglo XX con la mecánica cuántica y la comprensión del mundo



atómico, que dieron origen a la física nuclear y la física del estado sólido. En los famosos congresos de Solvay se fueron estructurando estas áreas, y en el 9, en 1951, el tema fue El estado sólido.

Yo tuve el privilegio de conocer, cuando fui a hacer el doctorado en Oxford, a uno de los fundadores del estado sólido, Sir. Rudolph Peierls, así que pude contar algunas anécdotas personales. Además, mi director de la tesis de doctorado era un experto en sólidos desordenados, en donde los átomos no están ubicados en posiciones periódicas, que fue un avance a la física de estado sólido original, que solo estudiaba sólidos periódicos, llamados cristalinos.

Los sólidos tienen muchísimas aplicaciones, pero seguramente su gran relevancia histórica viene de sus aplicaciones en electrónica, con el uso de semiconductores, para construir transistores.

También hablé de la física en México, que nace en la UNAM en 1937. La primera línea fue la física nuclear, pero muy pronto surge el estado sólido que se extiende rápidamente por nuestro país y es hoy el área más numerosa y extendida.

¿Cuál es la relación de la física del estado sólido con las energías renovables? Por supuesto, queremos conocer sobre tus contribuciones en este campo.

Hay muchos ejemplos posibles porque los materiales son claves en todos los dispositivos que requieren las energías renovables, pero seguramente el ejemplo más icónico son nuevamente los semiconductores que, en forma semejante a los transistores, pueden formar uniones de semiconductores dopados para construir las celdas fotovoltaicas.

El semiconductor por excelencia es el silicio. Las primeras celdas solares fueron hechas de silicio cristalino y yo participé en el estudio de la posibilidad de usar silicio amorfo hidrogenado. Aunque hicimos muchos estudios teóricos no se llegaron a construir celdas de este material. Se optó por otros materiales en el camino experimental. Otro estudio en el que he participado y participo es en el material silicio poroso, nanoestructurado, que sí tiene contraparte experimental en el IER y se sigue desarrollando. Analizando la literatura, tanto en el tema del silicio amorfo como en el de silicio poroso, empezamos nuestro trabajo simultáneamente al resto del mundo, en la vanguardia.



Cuál es la tendencia de la investigación (en la física del estado sólido) hoy en día.

La física del estado sólido está contenida hoy en el área de física de la materia condensada, donde las fases condensadas son sólidos, líquidos y otras más originales, como el condensado superfluido.

Es el área donde hay más investigadores en el mundo. Lo actual en materia condensada es estudiar sistemas complejos en y fuera de equilibrio, los nuevos materiales y los nanomateriales. Además, se busca la interdisciplina, por ejemplo, con la biología. También aquí está impactando las nuevas herramientas computacionales y el manejo de grandes datos. Se comentó en la reunión de la DES la pertinencia de incluirnos en la clasificación moderna internacional,

donde el estudio del estado sólido fue la semilla de la materia condensada.

También hay que mencionar la ciencia de materiales, que estudia las propiedades físicas y químicas de los materiales, así como su preparación y aplicación. La física del estado sólido es más básica que la ciencia de materiales, pero están íntimamente relacionadas.





Innovadoras Técnicas de Oxidación en el tratamiento de aguas residuales

Juan Manuel Valero

En un mundo donde la escasez de agua y la contaminación del agua son desafíos cada vez más apremiantes, la investigación en tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales se convierte en una pieza clave para garantizar la sostenibilidad ambiental.

En este contexto, platicamos con el doctor Hugo Olvera Vargas, investigador del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), quien se ha convertido en un referente en el desarrollo de métodos de oxidación avanzados para la remediación ambiental.

Su reciente reconocimiento en el sexto Congreso Iberoamericano de Tecnologías Avanzadas de Oxidación

celebrado en Brasil subraya la importancia y el impacto de su trabajo.

Hugo, platicanos sobre el premio que obtuviste en el marco del sexto Congreso Iberoamericano de Tecnologías Avanzadas de Oxidación, que tuvo lugar en Brasil.

“Estoy muy contento. Es un orgullo representar a México en eventos internacionales. Obtuve el premio como investigador joven en Iberoamérica, que incluye a España y Portugal. El congreso se realizó en la ciudad de Florianópolis, una isla en el sur de Brasil, capital del estado de Santa Catarina.”

Hugo Olvera fue galardonado como Investigador Joven en Iberoamérica, por su destacada contribución en el campo de las tecnologías de oxidación avanzada. Él destaca la relevancia de sus aportes en un ámbito crucial para México y la región iberoamericana.

Las tecnologías de oxidación avanzada (OAD) son procesos químicos que generan especies oxidantes extremadamente potentes, capaces de degradar contaminantes tóxicos presentes en aguas residuales.



El enfoque del doctor Olvera se centra en las OAD electroquímicas, donde se utiliza electricidad para producir radicales libres que transforman los contaminantes en compuestos menos tóxicos o incluso en productos con valor agregado.

“Estamos hablando de una revolución en el tratamiento de aguas residuales, donde no solo limpiamos el agua, sino que también aprovechamos los contaminantes como recursos valiosos,” explica.

Contaminantes Emergentes: Un Riesgo Invisible

Uno de los mayores desafíos en la gestión de aguas residuales son los contaminantes emergentes. Estas sustancias, que incluyen fármacos, colorantes textiles, nanomateriales y antibióticos, que provienen de actividades humanas y llegan al medio ambiente en concentraciones bajas, pero persistentes.

A pesar de sus niveles reducidos, representan un riesgo toxicológico significativo para los ecosistemas. Hugo Olvera destacó que en México, la regulación de estos contaminantes es prácticamente inexistente, a diferencia de regiones como la Unión


Europea y Estados Unidos, donde ya se han establecido límites permisibles y normas específicas para su control.

“La investigación no sólo se enfoca en la eliminación de contaminantes, sino también en su conversión en productos útiles.

“Un ejemplo notable es la transformación del paracetamol, un medicamento común que contamina muchas fuentes de agua, en ácido oxálico, mediante un proceso electroquímico de oxidación avanzada.

“Este ácido es un compuesto de alto valor industrial, utilizado en la fabricación de productos para el cuidado de la piel, entre otros. Es como hacer magia: convertir contaminantes en recursos útiles,” subrayó Hugo Olvera con entusiasmo.

Aunque las tecnologías desarrolladas por el doctor Olvera Vargas están en una etapa avanzada de investigación, su implementación a gran escala en la industria aún requiere de colaboración y financiamiento.

The page features a decorative background with green leaves at the top and laboratory glassware, including a beaker and a graduated cylinder, on the right side. The text is set against a white background.

“Necesitamos más apoyo de las empresas y agencias financiadoras para escalar estas tecnologías y aplicarlas de manera industrial,” señaló.

Además, resaltó la importancia de la concientización pública y la moderación en el uso de productos químicos en el hogar, como medicamentos y productos de cuidado personal, para reducir la carga de contaminantes emergentes en el medio ambiente.

Un Camino Hacia la Sostenibilidad

El trabajo de Olvera Vargas ejemplifica cómo la investigación científica puede abordar problemas ambientales complejos, mediante soluciones innovadoras y sostenibles. Su enfoque no solo mejora la calidad del agua, sino que también contribuye a una economía circular donde los residuos se convierten en recursos valiosos. “Estamos produciendo otros elementos al limpiar el agua residual, aprovechando la riqueza que contienen,” concluye.

El reconocimiento recibido en el Congreso Iberoamericano es sólo el comienzo de una trayectoria prometedora que, con el apoyo adecuado, puede transformar significativamente la gestión de aguas residuales en México y más allá.

La labor de Hugo Olvera Vargas es una inspiración para investigadores y profesionales comprometidos con la sostenibilidad y la protección del medio ambiente.



UNAM
Nuestra *gran*
Universidad



IER
Instituto de Energías
Renovables

 /InstitutoDeEnergíasRenovables

   @ierunam