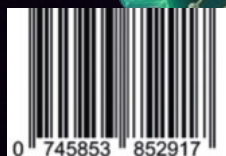


# PHYSIOS

+CIENCIA+TECNOLOGÍA+CONOCIMIENTO

## Semiconductores, columna del futuro

ESTE NÚMERO ESPECIAL REÚNE  
INVESTIGACIONES CLAVE SOBRE  
SEMICONDUCTORES: DESDE SUS BASES  
ATÓMICAS HASTA INNOVACIONES EN  
ENERGÍA, AGROINDUSTRIA Y FOTOCATÁLISIS.  
UNA VISIÓN INTEGRAL DEL MATERIAL QUE  
IMPULSA LA ERA DIGITAL



0 745853 852917

PRECIO: \$60.00 PESOS MX / \$3.40 US

P/10

PRIMER AÑO DE ARMENTA IMPULSA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA



# PHYSIOS

+CIENCIA+TECNOLOGÍA+CONOCIMIENTO



## Ciencia y Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

CONVOCATORIA

Revista Physios y la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación de Puebla invitan a investigadores e investigadoras a participar en su número especial dedicado al estudio de los semiconductores, desde sus fundamentos físicos hasta sus aplicaciones emergentes en medicina, energía, telecomunicaciones, nanotecnología y más.

### Ventajas de publicar en esta edición especial:

- Publicación con DOI (Identificador de Objeto Digital)
- Revista con ISSN y criterios editoriales de calidad
- Difusión digital amplia y acceso abierto
- Aval académico y visibilidad en comunidades científicas

Consulta los requisitos y formato de envío escaneando el código QR o visitando nuestro sitio web.



[www.physios.mx](http://www.physios.mx)





GRUPOORO  
COMUNICACIONES

# ANÚNCIATE CON NOSOTROS



oronOticias  
Nuestra pasión es informarte

ORO  
SÓLIDO  
con Fernando Garci-Crespo

ESPN

rovisión  
publicidad en movimiento

¿SABES TODO LO QUE TIENE LA  
#RutaRD  
PARA TI?



DESGLIZA PARA CONOCER MÁS

oro  
deportes

LAS  
CLÁSICAS  
DE LA ROMÁNTICA  
CON DANTY GALLARDO

92.9HD2



ORO  
SOLO HITS  
94.9

¿SABES CÓMO PROGRAMAR UN  
#DESPERTADORRD?  
EL DÍA A TU PERSONA FAVORITA



RANK1NG  
LATINOAMÉRICA



VENTAS: 22 25 05 74 77



# CONTENIDO

REVISTA DE DIVULGACIÓN • DICIEMBRE 2025

+CIENCIA+TECNOLOGÍA+CONOCIMIENTO

## VOCES DE EXPERTOS

| 14 |

**FOTOLUMINISCENCIA  
DE SIOXCYNZ/SI  
OBTENIDO POR  
ELECTRÓLISIS**

| 32 |

**LA OTRA CARA  
DEL  $\text{TiO}_2$  COMO  
SEMICONDUCTOR**

| 18 |

**SEMICONDUCTORES:  
TECNOLOGÍA CLAVE  
PARA LA  
AGRICULTURA EN  
INVERNADEROS**

| 36 |

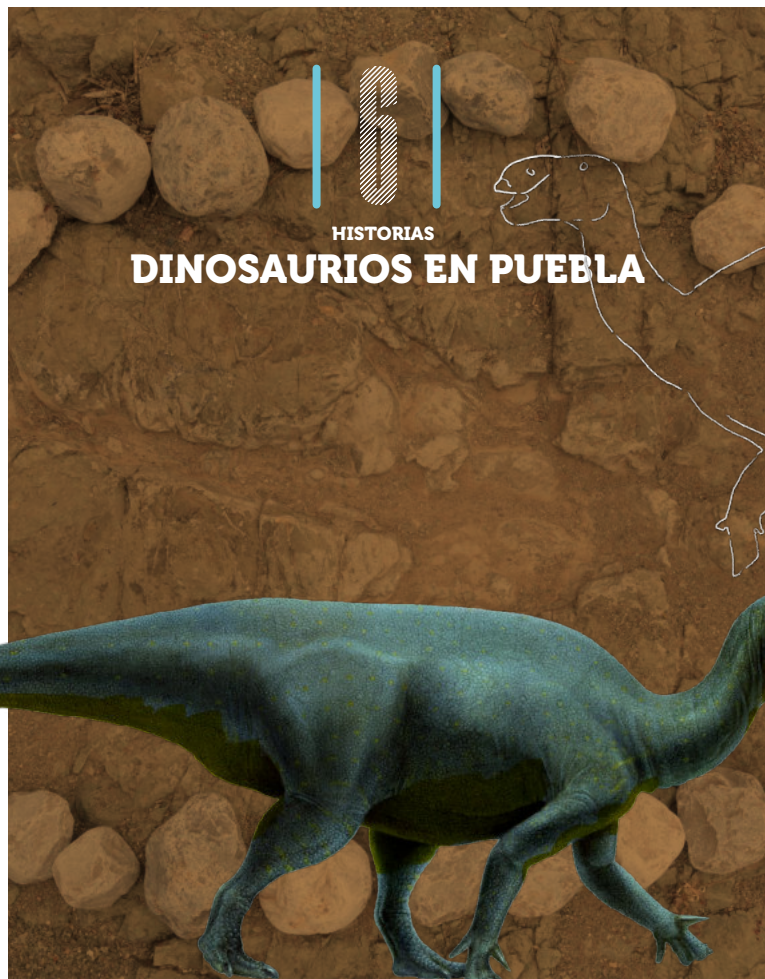
**SEMICONDUCTORES  
TRANSPARENTES, LA  
CIENCIA QUE ABRE  
VENTANAS AL FUTURO**

| 26 |

**METALES, AISLANTES Y  
SEMICONDUCTORES:  
LA CIENCIA DETRÁS  
DE LA ELECTRICIDAD**

| 40 |

**SEMICONDUCTORES  
PARA UNA  
AGRICULTURA  
DE PRECISIÓN**



## PHYSIOS



NUESTRA WEB

**Director General**  
**JOSÉ CASTAÑARES**  
TW @Jose\_Castanares  
josecastanares@gmail.com

**Comité Editorial**  
Dr. Rubén Vázquez Roque  
Dr. Fabián Galindo Ramírez  
Dr. José Everardo Avelino Cruz

**Comité Editorial Adjunto**  
Dr. Celso Enrique Cortés Romero  
Dr. Julio César Morales Medina  
Dr. Samuel Treviño Mora  
Dra. Lourdes Mateos Espejel  
Dra. María Andrea Vázquez  
Dr. Mariano Castellanos  
Dr. José Luis Estrada Rodríguez

**Comité Revisor**  
Dr. Alfonso Daniel Díaz Fonseca  
M. en C. Patricia Mayeli Quechol Tecuati  
Dra. Diana Isabel Hernández Juárez  
Dr. Jose Israel Rodríguez Mora  
Dr. Víctor Manuel Vázquez Báez

**Fotografía**  
Agencia Es Imagen  
[www.esimagen.mx](http://www.esimagen.mx)

Daniela Portillo  
Arlette Gordian  
Anel Esgua

**Correctora de estilo**  
Rosaura García Francisco

**Coordinación DOI**  
Dra. Lourdes Mateos Espejel

**Diseño**  
Valeria Lizeth Bautista Bautista

[www.physios.mx](http://www.physios.mx)

X @Physiosmx

f Fb @Physios

ig @Physios\_mx

✉ [physiosmx@gmail.com](mailto:physiosmx@gmail.com)

**PHYSIOS**, año 3 No.33, diciembre 2025. Es una publicación mensual editada por José Antonio León Castañares. Editor Responsable: José Antonio León Castañares. [editor.physios@gmail.com](mailto:editor.physios@gmail.com). Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2023-022414282800.102. Número de Certificado de Licitud y Título: 17573. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 17573. Domicilio de la Publicación: 2 sur 509 Int. 2 Col. Centro C.P. 72000, Puebla, Pue. Distribución propia. Impresa en: Impresos Diego. Privada 37 Norte 211, Col. Amor, C.P. 72140, Puebla, Pue.

PHYSIOS es una marca registrada ante el IMPI 2592740. Queda prohibida su reproducción total o parcial sin previa autorización por escrito del editor y los autores.

El Contenido de los artículos no refleja necesariamente la opinión de los editores.



# EDITORIAL

**Este número de diciembre es especial por dos razones: cierra un año decisivo para la ciencia y la tecnología en Puebla, y reúne —gracias a la respuesta entusiasta a la convocatoria lanzada en agosto— una colección excepcional de artículos dedicados al universo de los semiconductores, el corazón material de la era digital.**

Las contribuciones que integran este número abordan los semiconductores desde múltiples ángulos, dibujando un panorama amplio, riguroso y profundamente contemporáneo. Desde los fundamentos atómicos y la estructura de bandas que definen su comportamiento eléctrico, hasta los métodos de síntesis innovadores, como la obtención de  $\text{SiOxCyNz/Si}$  por electrólisis, nuestros autores presentan avances que redefinen lo posible.

Otros trabajos exploran aplicaciones estratégicas: los invernaderos inteligentes que utilizan sensores y microcontroladores para optimizar cultivos; la fotoluminiscencia como herramienta de análisis; el papel del silicio en la microelectrónica y la revolución que desencadenó en el mundo moderno; o la “otra cara” del  $\text{TiO}_2$ , cuyo potencial como semiconductor abre nuevas rutas para la fotocatalisis y la energía solar.

La diversidad de perspectivas —desde la ciencia de materiales, la electrónica, la agroinnovación y la energía— revela una conclusión clara: los semiconductores no son solo componentes; son un territorio de soberanía, competitividad y futuro.

Este número también ofrece una mirada amplia a la transformación tecnológica de Puebla durante 2025. A lo largo del año, el estado consolidó pasos firmes hacia su soberanía tecnológica a partir de políticas públicas que fortalecieron la educación, la infraestructura científica, la innovación industrial y la formación de talento.

Desde la expansión de la agenda tecnológica estatal y la creación de centros estratégicos hasta el anuncio de la llegada del primer laboratorio de IA de Google en México, cada iniciativa confirma que Puebla transita por un proceso histórico.

En el centro de este impulso destaca el liderazgo del gobernador Alejandro Armenta, quien desde el inicio de su administración ha promovido, a través de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti), una visión ambiciosa: convertir a Puebla en el Silicon Valley del sureste de México. Su apuesta por integrar academia, industria, gobierno y comunidades científicas está sentando las bases para que el estado no solo participe, sino lidere la revolución tecnológica nacional.

A nombre del equipo de Revista Physios, agradecemos profundamente a quienes hicieron posible este número: investigadoras e investigadores, articulistas, revisores, editores, diseñadores y colaboradores que, con su talento, construyen esta plataforma de conocimiento, y por supuesto, a nuestros lectores.

Deseamos que este cierre de año llegue con celebraciones cálidas, descanso merecido y nuevas energías para iniciar juntos un 2026 lleno de descubrimiento, innovación y ciencia compartida.

**José Castañares**



Correo electrónico:  
josecastanares@gmail.com



Usuario de X e Instagram:  
@Jose\_Castanares





# Dinosaurios en Puebla:

## hallan huellas fosilizadas en antiguos suelos marinos

**Las huellas halladas en Tehuacán-Cuicatlán quedaron impresas cuando la zona estaba bajo el mar; los rastros pertenecen a distintos dinosaurios que no necesariamente coexistieron en el mismo tiempo**











REDACCIÓN PHYSIOS | FOTOS: ESIMAGEN.MX

**E**l Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) confirmó la presencia de huellas de diversos grupos de dinosaurios en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, en Puebla. El hallazgo se realizó tras inspecciones motivadas por reportes de habitantes de la zona.

Iván Alarcón Durán, responsable de Paleontología del Centro INAH Puebla, coordinó los trabajos de verificación en localidades de los municipios de Atexcal y Tehuacán. Las lluvias recientes erosionaron sedimentos, permitiendo la exposición de estos vestigios.

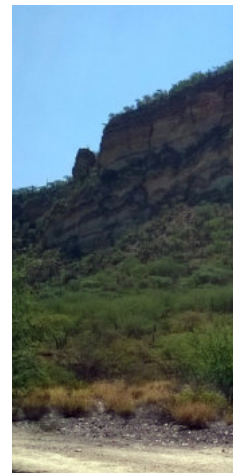
Las icnitas se localizaron en tres sitios: la junta auxiliar de Santa Ana Teloxtoc (Tehuacán), Santa Catarina Tehuixtla y San Lucas Teteletitlán (Atexcal). En cada lugar se documentaron entre 5 y 20 huellas, dispersas a lo largo de distancias de 200 a 300 metros en laderas de ríos o barrancas.

El paleontólogo identificó rastros atribuidos principalmente a dinosaurios herbívoros de la familia Iguanodontidae y a saurópodos (dinosaurios de cuello largo). También se reconocieron huellas de terópodos pequeños. Adicionalmente, se registró la posible presencia de terópodos de mayor tamaño (como alosáuridos) y de pterosaurios (reptiles voladores), aunque estos últimos casos requieren estudios más profundos para su confirmación.

Alarcón Durán explicó que estos rastros son evidencias indirectas fosilizadas, impresas en suelos blandos que hoy forman parte de las rocas sedimentarias. Aclaró que la coexistencia de huellas de diferentes grupos no significa que los animales hayan vivido simultáneamente; pudieron ser dejadas en distintos momentos dentro del mismo período geológico.

Los nuevos sitios también han mostrado estratos con moluscos fosilizados y evidencias de maderas petrificadas, similares a los depósitos estudiados previamente en la Barranca del Río Magdalena y en San Juan Raya. Todas estas localidades pertenecen geológicamente a la Formación San Juan Raya del Cretácico Inferior.

El investigador destacó que, hace 120 millones de años, gran parte del sur del actual estado de Puebla estaba cubierto por el mar o era zona costera, donde quedaron impresas las huellas. Subrayó que la protección de este patrimonio paleontológico es una responsabilidad compartida y que el INAH mantiene un diálogo con las comunidades locales para evitar saqueos o alteraciones. Cualquier investigación formal debe realizarse en el marco de un proyecto autorizado por el Consejo de Paleontología del INAH, institución que ya realizó el registro oficial de estos sitios.







Iguanodontidae

Saurópodos

## 120 millones

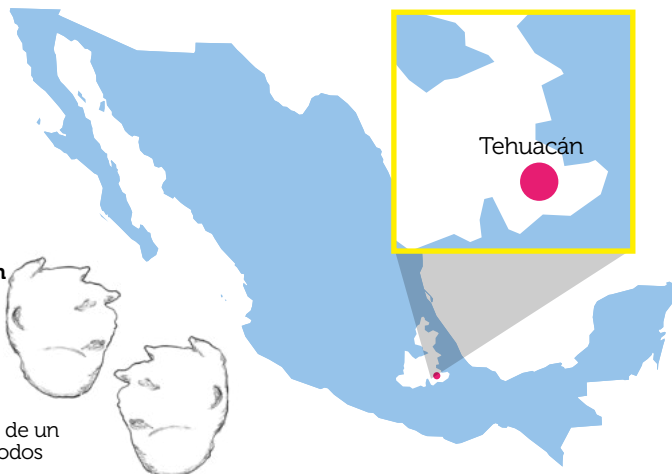
de años es la antigüedad estimada de las huellas, correspondiente al Cretácico Inferior.

## 3 localidades

en los municipios de Tehuacán y Atexcal albergan los nuevos conjuntos de icnitas.

Entre 5 y 20 huellas se registraron en cada uno de los sitios identificados.

Hasta 300 metros es la extensión lineal en la que se encuentran dispersas las huellas en algunas localidades.



Huellas de un Saurópodos



ACTUALIDAD

PHYSIOS

# Un año de impulso a la ciencia y tecnología en

# PUE BLA



FOTO:ESIMAGEN.MX



## REDACCIÓN PHYSIOS

La administración del gobernador Alejandro Armenta consolidó en un solo año una agenda estatal que coloca a Puebla en ruta hacia la soberanía tecnológica, basada en alianzas universitarias, infraestructura científica, movilidad sustentable, innovación industrial y atracción de inversiones globales. De enero a diciembre, el estado articuló esfuerzos con academia, empresas, gobiernos y comunidades para posicionarse como referente nacional en tecnología, inteligencia artificial y formación de talento.

El año inició con un hecho clave: la BUAP y el Gobierno de Puebla firmaron un convenio estratégico para que la ciencia y la academia se traduzcan directamente en beneficios para la población. La rectora María Lilia Cedillo Ramírez destacó el compromiso histórico de la universidad con la formación de ciudadanos que trabajan por los más vulnerables.

El gobernador Alejandro Armenta subrayó que esta alianza permitirá “hacer llegar a todos los municipios la enorme gama de extensionismo cultural, científico y deportivo de la BUAP” y avanzar en la consolidación de CU2, campus destinado a detonar la investigación aplicada. El mandatario también afirmó que la universidad será “columna vertebral para convertir a Puebla en la capital de la tecnología”.

Asimismo, durante las primeras semanas del año, Armenta delineó su proyecto tecnológico: convertir a Puebla en el Silicon Valley del país y de Latinoamérica, con apoyo del gobierno federal encabezado por la presidenta Claudia Sheinbaum. El gobernador destacó que el talento provendrá de instituciones públicas y privadas de toda la entidad, con un enfoque humanista e incluso que contempla la participación de estudiantes de pueblos originarios.

El estado también se posicionó como futuro proveedor tecnológico del Corredor Interoceánico, aprovechando su ubicación y conectividad ferroviaria. Este objetivo implica que Puebla participe en el flujo de mercancías entre Europa, Asia y América mediante ciencia, productos y capital humano especializado.

El avance de Puebla hacia la formación de talento especializado en semiconductores sumó un hito en febrero con el arranque del taller Electro Tlalli, impartido en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Un total de 162 estudiantes de bachillerato iniciaron esta experiencia formativa diseñada para introducirlos al diseño de circuitos integrados, una disciplina estratégica para la soberanía tecnológica del país. La iniciativa, impulsada por el INAOE y el Gobierno de Puebla a través de la Secihti, forma parte de los esfuerzos nacionales para preparar a las nuevas generaciones en áreas clave para la industria microelectrónica.

En marzo, la agenda tecnológica tuvo dos momentos clave. Primero, la entrega de 10 taxis eléctricos y seis autobuses dentro del Programa Integral de Reordenamiento

y Modernización del Transporte Público. La escena estuvo marcada por el testimonio de Don Domingo Márquez, taxista con 58 años de servicio, quien agradeció la oportunidad de seguir trabajando con tecnología sustentable. Armenta reiteró que Puebla acompaña la estrategia nacional de electromovilidad impulsada por la presidenta Sheinbaum.

Segundo, el gobierno estatal, a través de la Secretaría de Desarrollo Económico y Trabajo, inició el proyecto Autotren, un sistema de movilidad eléctrica e inteligente diseñado para corredores de transporte público. La iniciativa coloca a Puebla en la vanguardia del desarrollo de soluciones tecnológicas aplicadas a movilidad urbana.

Antes de la primera mitad del año, la administración presentó un portafolio de proyectos destinados a detonar el ecosistema tecnológico poblano, entre ellos: la Casa de Diseño de Semiconductores-Kutsari, el Centro de Diseño del auto eléctrico Olinia, el Centro de Cómputo de Alto Rendimiento e Inteligencia Artificial, además de la Red ECOS de Divulgación Científica, la apertura de dos campus de la Universidad Nacional Rosario Castellanos, uno especializado en salud y otro en el municipio de Eloxochitlán.

Estas obras representan la base científica para impulsar industrias estratégicas como microelectrónica, inteligencia artificial, manufactura avanzada y biotecnología.

Otro momento a destacar sucedió en octubre, cuando Puebla reunió a miles de jóvenes, emprendedores y especialistas en el Tech Capital Puebla Summit 2025, organizado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). Bajo el lema *“Inteligencia Artificial como motor de desarrollo – Innovación para un futuro compartido”*, el encuentro fortaleció el modelo de Pentahélice que integra academia, empresa, gobierno, sociedad civil y emprendimiento. El objetivo: masificar la capacitación en IA, generar innovación con impacto social y atraer inversiones tecnológicas mediante casos de éxito ya en marcha.

Para noviembre, en San José Chiapa se concretó el primer Polo de Desarrollo del Bienestar, lo que colocó a Puebla como el estado que más rápido llenó de industria sus polígonos. El secretario técnico de la Comisión Intersecretarial de Economía federal, Luis Ernesto Salomón Delgado, destacó que Puebla ocupa el primer lugar a nivel nacional en este logro.

Además, el gobierno estatal alcanzó un acuerdo histórico para que la empresa AgroTech HUB se instale en este polo industrial, impulsando la agroinnovación como complemento a la visión tecnológica.

Ya para casi cerrar el año, un anuncio sin precedentes cimbró a Puebla: Google instalará en aquí su primer laboratorio de Inteligencia Artificial en México, informó la secretaria de Ciencia y Tecnología, Celina Peña Guzmán. El proyecto iniciará operaciones en enero de 2026 y permitirá formar talento altamente especializado, generando empleos bien remunerados y reforzando la vocación tecnológica del estado.

Enero

Marzo

## EMPRENDE ALIANZA LA BUAP Y EL GOBIERNO DEL ESTADO DE PUEBLA

CON ESTE CONVENIO SE HARÁ LLEGAR A TODOS LOS MUNICIPIOS DE PUEBLA LA GAMA DE ENTRENAMIENTO CULTURAL, DEPORTIVO Y TECNOLÓGICO QUE TIENE ESTA CASA DE ESTUDIOS



Los estudiantes podrán hacer prácticas en el sector público y privado, así como en el extranjero. La BUAP y el Gobierno del Estado de Puebla han firmado un convenio de colaboración que permitirá a los estudiantes de esta casa de estudios acceder a una amplia gama de servicios de entrenamiento cultural, deportivo y tecnológico que se ofrecen en esta entidad.

El convenio establece que la BUAP será la encargada de brindar a los estudiantes de esta casa de estudios los servicios de entrenamiento cultural, deportivo y tecnológico que se ofrecen en esta entidad. A su vez, el Gobierno del Estado de Puebla se compromete a brindar a los estudiantes de esta casa de estudios los servicios de entrenamiento cultural, deportivo y tecnológico que se ofrecen en esta entidad.



## PORTAFOLIO DE MINI VEHÍCULOS OLINIA



Movilidad personal  
Movilidad de barrio  
Entregas de última milla

## OLINIA

PRIMERA ARMADORA MEXICANA DE MINI VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

OLINIA SE ENFOCA EN BRINDAR UNA OPCIÓN DE MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE Y SUSTENTABLE A SU MERCADO OBJETIVO DE ENTRE 50 Y 100 MIL PÉSOX

OLINIA es una empresa mexicana que se dedica a la fabricación de mini vehículos eléctricos. La empresa ha desarrollado una línea de productos que incluye vehículos para movilidad personal, movilidad de barrio y entregas de última milla. Los vehículos de Olinia están diseñados para ser económicos, prácticos y fáciles de usar.

OLINIA es una empresa mexicana que se dedica a la fabricación de mini vehículos eléctricos. La empresa ha desarrollado una línea de productos que incluye vehículos para movilidad personal, movilidad de barrio y entregas de última milla. Los vehículos de Olinia están diseñados para ser económicos, prácticos y fáciles de usar.

## PUEBLA SERÁ POLO DE DESARROLLO DE TECNOLOGÍA

LA ENTIDAD PUEBLANA SE CONVERTIRÁ EN EL PRINCIPAL PROVEEDOR DE TECNOLOGÍA Y CAPITAL HUMANO, ATRAYENDO EL TALENTO HUMANO ENANCHO DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS PÚBLICAS Y PRIVADAS DEL ESTADO



El gobernador Alejandro Armenta destacó que la transformación de Puebla en un polo de desarrollo de tecnología y capital humano es una prioridad para su administración. Afirmó que el gobierno estatal está trabajando para atraer a empresas tecnológicas y de capital humano, así como para mejorar la infraestructura y los servicios públicos.

El gobernador Alejandro Armenta destacó que la transformación de Puebla en un polo de desarrollo de tecnología y capital humano es una prioridad para su administración. Afirmó que el gobierno estatal está trabajando para atraer a empresas tecnológicas y de capital humano, así como para mejorar la infraestructura y los servicios públicos.

El gobernador Alejandro Armenta destacó que la transformación de Puebla en un polo de desarrollo de tecnología y capital humano es una prioridad para su administración. Afirmó que el gobierno estatal está trabajando para atraer a empresas tecnológicas y de capital humano, así como para mejorar la infraestructura y los servicios públicos.

# Transformación en acción

Julio

Agosto

## Arranca el Polo de Desarrollo Económico en Puebla



El Gobierno Federal declaró oficialmente el 1 de julio la creación de un polo económico en Puebla con vocación tecnológica y sustentable

El 1 de julio, el Distrito Oficial de la Federación formalizó la declaración de Puebla como "Polo de Desarrollo Económico y Sustentable". Este proyecto forma parte del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 y busca convertir a México en uno de los diez principales economías del mundo.

## Crece inversión con Polo de Desarrollo en Puebla

La entidad pueblana consolida la Capital de la Tecnología y la Sustentabilidad con visión de bienestar y cohesión



El gobernador Alejandro Armenta destacó que la transformación de Puebla en un polo de desarrollo de tecnología y capital humano es una prioridad para su administración. Afirmó que el gobierno estatal está trabajando para atraer a empresas tecnológicas y de capital humano, así como para mejorar la infraestructura y los servicios públicos.



El gobernador Alejandro Armenta destacó que la transformación de Puebla en un polo de desarrollo de tecnología y capital humano es una prioridad para su administración. Afirmó que el gobierno estatal está trabajando para atraer a empresas tecnológicas y de capital humano, así como para mejorar la infraestructura y los servicios públicos.

El gobernador Alejandro Armenta destacó que la transformación de Puebla en un polo de desarrollo de tecnología y capital humano es una prioridad para su administración. Afirmó que el gobierno estatal está trabajando para atraer a empresas tecnológicas y de capital humano, así como para mejorar la infraestructura y los servicios públicos.

## Taruk, el autobús eléctrico mexicano para el turismo comunitario en Puebla

Desarrollado por la empresa Taruk



## GTM, clave del corredor tecnoturístico en Puebla

El proyecto en torno al Gran Tecnológico Mexicano es una apuesta por impulsar los atractivos turísticos de la Sierra Negra





Abril



### Transporte público eléctrico en Puebla

El gobernador Alejandro Armenta entrega 10 buses eléctricos y seis autobuses como parte del Programa Integral de Reinventamiento y Modernización del Transporte Público

REINVENTAMIENTO Y MODERNIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO

CAPIER DE PUEBLA, Pue. — Con la entrega de 10 buses eléctricos y seis autobuses, el estado de Puebla da un paso importante hacia la modernización del transporte público. Los vehículos eléctricos, que forman parte del Programa Integral de Reinventamiento y Modernización del Transporte Público, impulsado por el gobernador Alejandro Armenta, tienen una autonomía de hasta 100 kilómetros y una vida útil de hasta 10 años.

El gobernador Armenta entregó los vehículos en un momento clave para la ciudad, ya que se espera que en los próximos meses se entreguen más unidades. Los buses eléctricos serán utilizados en las rutas más congestionadas de la ciudad, lo que ayudará a reducir la contaminación y el ruido.

Los autobuses, por su parte, serán utilizados en las rutas de menor congestión. Los vehículos eléctricos, que forman parte del Programa Integral de Reinventamiento y Modernización del Transporte Público, impulsado por el gobernador Alejandro Armenta, tienen una autonomía de hasta 100 kilómetros y una vida útil de hasta 10 años.



El único que queremos es que las y los pueblanos tengan un transporte seguro, y que los ciudadanos puedan trasladarse a sus casas, trabajos y con sus familias en un transporte que respete la ley y el medio ambiente.

También queremos que a los transportistas que son emprendedores y que el chofer le vaya bien y que tengan los mismos derechos.

Alejandro Armenta, gobernador de Puebla



Mayo

ALIANZA ENTRE GOBIERNO ESTATAL Y FEDERAL

## PUEBLA, CON 7 PROYECTOS CLAVE

En ciencia, educación y tecnología, la entidad podrá tener participaciones en los sectores de desarrollo humano promovidos por la presidenta Claudia Sheinbaum



# Transformación

Octubre

## Puebla consolida su liderazgo tecnológico con el "Tech Capital Puebla Summit 2025"

Durante tres días, más de 200 jóvenes, expertos y líderes empresariales se reunieron en el Centro Expositor para proyectar a Puebla como capital nacional de la innovación y la inteligencia artificial

REUNIÓN MUNDIAL SOBRE SUMMIT JAMES CAMERON, ANGE CORDA Y TORREÓN

DURANTE tres días, más de 200 jóvenes, expertos y líderes empresariales se reunieron en el Centro Expositor para proyectar a Puebla como capital nacional de la innovación y la inteligencia artificial.

El evento, que se llevó a cabo en el Centro Expositor de Puebla, contó con la participación de expertos en tecnología, innovación y desarrollo humano. Los participantes discutieron sobre los desafíos y oportunidades de la transformación digital y la inteligencia artificial en el contexto mexicano.

El evento fue organizado por el gobierno de Puebla y contó con el apoyo de la comunidad empresarial y académica. Los participantes se reunieron en el Centro Expositor de Puebla, un espacio moderno y equipado con tecnología de punta.

Lo que están haciendo los jóvenes de Puebla es extraordinariamente importante"

Ricardo Armenta, gobernador de Puebla



Hoy abrimos las puertas a un futuro que construimos juntos. Bajo la visión humanista de la presidenta Claudia Sheinbaum y el liderazgo del gobernador Alejandro Armenta, ponemos la tecnología al servicio de la gente"

Celia Peña García, titular de la Secretaría de Economía

Noviembre

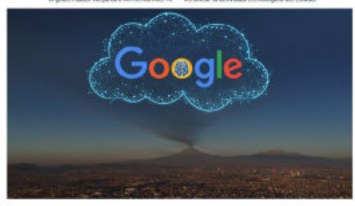
## Puebla tendrá el primer laboratorio de IA de Google en México

REUNIÓN MUNDIAL SOBRE SUMMIT JAMES CAMERON, ANGE CORDA Y TORREÓN

Google instalará en Puebla su primer laboratorio de inteligencia artificial en México, anunció la secretaria de Economía y Hacienda, Celia Peña García. El laboratorio, que estará en operación a finales de 2024, busca impulsar el desarrollo de la inteligencia artificial en la entidad y atraer inversión extranjera.

El laboratorio de IA de Google en Puebla será el primero de su tipo en México. El laboratorio estará ubicado en el Centro Expositor de Puebla, un espacio moderno y equipado con tecnología de punta. El laboratorio será dirigido por expertos en inteligencia artificial de Google y contará con el apoyo del gobierno de Puebla.

El laboratorio de IA de Google en Puebla será el primero de su tipo en México. El laboratorio estará ubicado en el Centro Expositor de Puebla, un espacio moderno y equipado con tecnología de punta. El laboratorio será dirigido por expertos en inteligencia artificial de Google y contará con el apoyo del gobierno de Puebla.



# VOCES DE EXPERTOS

+CIENCIA +TECNOLOGÍA +CONOCIMIENTO



> MARIJOSE  
ESPARRAGOZA  
MORALES



> FABIOLA  
GABRIELA NIETO  
CABALLERO



DOI:  
10.60647/f34p-rt30

## Fotoluminiscencia de $\text{SiO}_x\text{C}_y\text{N}_z/\text{Si}$ obtenido por electrólisis

POR: MARIJOSE ESPARRAGOZA MORALES Y  
FABIOLA GABRIELA NIETO CABALLERO

OXICARBONITRURO DE SILICIO, ELECTRÓLISIS, FOTOLUMINISCENCIA.

### Resumen

***El presente documento recopila la información teórica y experimental sobre el material oxicarbonitruro de silicio y un novedoso método de síntesis por electrólisis. Se propone el uso de un precursor carbonado para depositar una película de  $\text{SiO}_x\text{C}_y\text{N}_z$  sobre un sustrato de silicio cristalino, las reacciones que se llevan a cabo durante el proceso y el tratamiento térmico aplicado dan lugar a un material que presenta fotoluminiscencia verde asociado a defectos presentes en el mismo.***



Pica aquí  
Lee el artículo  
en línea





## Introducción

Los semiconductores son materiales que presentan propiedades físicas peculiares y una conductividad media entre los conductores y los aislantes, que varía en función de la temperatura. El silicio es un material abundante en la corteza terrestre (aproximadamente 20%) que se encuentra en su mayoría como dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y silicatos, además es un semiconductor que es la base de la microelectrónica y es utilizado en diversos procesos industriales. Además, es un material de referencia en uso como electrodo en baterías elaboradas con base a litio con una capacidad teórica de 3579 mA.h-g<sup>-1</sup> (Chen *et al.*, 2025), que presenta cambios en su estructura (fractura) cuando se manipula en los procesos con litio. El silicio reacciona fácilmente con el oxígeno formando una delgada capa de  $\text{SiO}_x$  que permite controlar la expansión del volumen, pero limita la conductividad, por lo que una alternativa es combinarlo con carbono, ya que este participa en la mejora de la conductividad eléctrica (Cui *et al.*, 2022d).

Aquellos materiales con base a silicio, oxígeno y carbono son llamados oxicarburos de silicio ( $\text{SiO}_x\text{C}_y$ ) y presentan aplicaciones en diodos emisores de luz blanca, capas dieléctricas, almacenamiento de hidrógeno y sensores de gas, (Hansda *et al.*, 2024) (Meneses *et al.*, 2024); este material resulta de la incorporación de carbono en la estructura de la red de silicio y sus propiedades pueden ser diseñadas y ajustadas variando la composición de los precursores y condiciones de procesamiento. Entre sus propiedades fisicoquímicas resalta una elevada estabilidad térmica, así como estabilidad en ambientes oxidantes o corrosivos y absorción de ondas electromagnéticas (Zhang B. *et al.*, 2024)

Los métodos de síntesis más comunes para

este material incluyen depósito químico en fase vapor (CVD) (Cui *et al.*, 2022b), pirólisis (Chandra *et al.*, 2019), depósito químico en fase vapor por plasma (PECVD) (Jin S.B. *et al.*, 2013); (Socha *et al.*, 2002), entre otros; estos

equipos requieren aparatos sofisticados, precursores costosos y ambientes extremos, y los vuelve poco accesibles para un amplio estudio, afectando también a nivel industrial. En la literatura no se reporta un método de síntesis mediante electrólisis, lo que representa una oportunidad para desarrollar; este proceso consiste en aplicar energía externa a un sistema para

llevar a cabo una reacción que de otro modo no podría darse, es, una reacción no espontánea. La corriente suministrada viaja a través de los electrodos y la solución, la energía disocia el precursor carbonado en iones positivos y negativos, lo que permite la incorporación de los átomos al sustrato de silicio.

**Fotoluminiscencia es la emisión de luz como consecuencia de la absorción previa de una radiación, como sucede en la fluorescencia y la fosforescencia.**



Carburo de silicio

## Proceso electroquímico

En el proceso de obtención se utilizó una celda en donde se coloca el sustrato de silicio cristalino (tipo p y resistividad 0.25 – 0.6 ohm-cm) en contacto con una lámina de aluminio, además de una solución precursora de carbono-nitrógeno y se cierra el circuito con un alambre de tungsteno, este sistema se conecta a una fuente de poder que suministrará una corriente por un determinado tiempo y finalmente se aplica tratamiento térmico a una temperatura de 900 °C, para el reacomodo de los átomos en la muestra, que da lugar a una preferente estructura cristalina del sistema. Este material presenta la combinación de tres sistemas óxido de silicio ( $\text{SiO}_x$ ), carburo de silicio ( $\text{SiC}$ ) y nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), materiales que presentan una alta resistencia química y una potencial aplicación como barrera a la corrosión. La ilustración 1 presenta una micrografía obtenida mediante microscopia



electrónica de barrido de SiOxCyNz/Si a una amplificación de 200x, en donde se observan formaciones tipo hojuela con un diámetro aproximado de 100  $\mu\text{m}$  y el análisis elemental indica la presencia de átomos de silicio, oxígeno, nitrógeno y carbono.

### Caracterización por fotoluminiscencia

El estudio de la fotoluminiscencia es una propiedad de los materiales semiconductores que consiste en absorber energía y lograr un estado excitado el cual no es posible mantener, por lo que realiza una transición a un estado de menor energía y se emite radiación electromagnética, es decir, regresa a su estado fundamental liberando energía mediante la emisión de fotones. Se reporta la fotoluminiscencia blanca en muestras de SiO<sub>x</sub>C<sub>y</sub> que presentan enlaces con átomos de hidrógeno, así como también asociados a diferentes tipos de defectos presentes en el material como centros de deficiencia de oxígeno enlazado a silicio ( $\text{O}_3\equiv\text{Si}\dots\text{Si}\equiv\text{O}_3$ ) (Si-ODSs), vacancias de oxígeno enlazado a átomos de silicio (Si-NOVs), vacancias de oxígeno enlazados con átomos de carbono (C-NOVs) y centros de huecos en átomos de oxígeno (NBOHCS) ( $=\text{Si}-\text{O}\cdot$ ) (Meneses *et al.*, 2024), además la

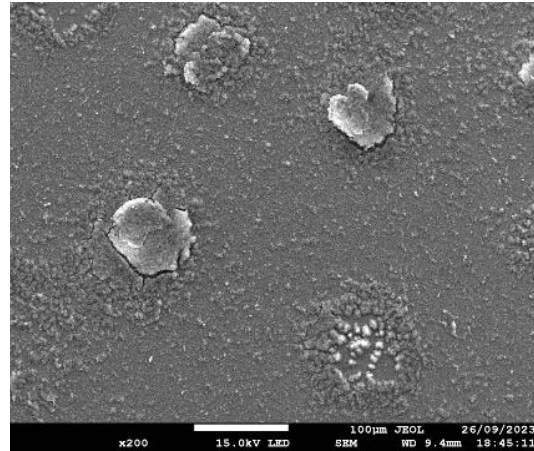


Ilustración 1. Micrografía SEM del material SiOxCyNz/Si obtenida mediante electrólisis.

contribución de enlaces silicio-nitrógeno. La combinación de estos defectos da lugar a una emisión característica en un rango de longitud de onda determinada, la respuesta fotoluminiscente de este material (Ilustración 2) presenta una banda ancha de emisión de 450 a 600 nm centrada en 500 nm que corresponde a longitud de onda en la región visible y es asociada a centros de deficiencia de oxígeno enlazado a silicio.

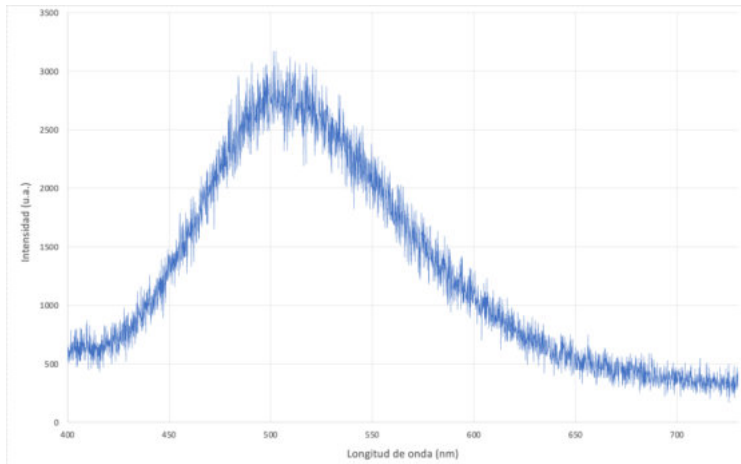


Ilustración 2. Espectro de fotoluminiscencia del material SiOxCyNz/Si obtenido por electrólisis.

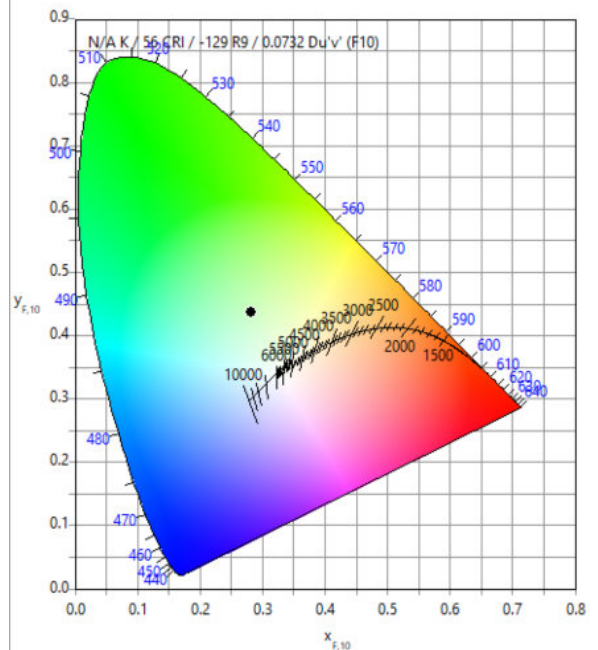


Ilustración 3. Aproximación de color en que emite el material SiOx



El sistema de color CIE (Color calculator 7.59, OSRAM) modela la visión del color a partir de los datos obtenidos de fotoluminiscencia, con un diagrama de cromaticidad que muestra los límites de la percepción del color usando el parámetro de brillo (Y) que es una medida de la intensidad de la luz (luminancia) y las coordenadas de cromaticidad (x,y), enfocada a la sensibilidad normal del ojo humano. La ilustración 3 es el diagrama de color CIE, con un punto indicado en color negro de coordenadas aproximadas en (0.28, 0.43) que muestra de manera aproximada la emisión del material.

### Conclusión

La investigación enfocada a la síntesis de materiales es una constante búsqueda debido a que cada parámetro de control durante el proceso agrega características novedosas a los materiales y de interés para la industria; se obtuvo el material  $\text{SiOxCyNz/Si}$  mediante un proceso de electrólisis y un tratamiento térmico; el proceso de electrólisis se realizó a temperatura ambiente con precursores que no representan un peligro derivado a residuos tóxicos. Una propuesta de aplicación de este material es para elaboración de leds y como absorbente de ondas electromagnéticas (EMW) aplicados en entornos adversos. En este método de síntesis se pueden agregar moléculas orgánicas para diseñar materiales específicos; lo que representa una alternativa accesible en equipo y precursores.

### Agradecimientos

A Dr. N. Rutilo Silva González (IFUAP) por su apoyo en la caracterización de microscopía electrónica de barrido (SEM) realizada al material.

A Dr. J. Miguel Gracia Y Jiménez (IFUAP) por su apoyo en la caracterización de fotoluminiscencia realizada al material.

### REFERENCIAS

- Chen D., Li R., Liu C., Jiang K. (2025). Electro spraying  $\text{Si/SiOx/C}$  and  $\text{Sn/C}$  nanosphere arrays on carbon cloth for high-performance flexible lithium-ion batteries. *Journal of Semiconductors* 46, 1-9. DOI: 10.1088/1674-4926/24080030.
- Chandra, C., Cahyadi, H. S., Alvin, S., Devina, W., Park, J. H., Chang, W., Chung, K. Y., Kwak, S. K., & Kim, J. (2019). Revealing the Sodium Storage Mechanism in High-Temperature-Synthesized Silicon Oxycarbides. *Chemistry Of Materials*, 32(1), 410-423. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.9b04018>
- Cui, S., Zhang, J., Fan, S., Xing, X., Deng, L., & Gong, Y. (2022).  $\text{SiOxCy}$  Microspheres with Homogeneous Atom Distribution for a High-Performance Li-Ion Battery. *Nano Letters*, 22(23), 9559 - 9565. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.2c03699>
- Hansda, S., Sarkar, D., Kundu, S., Kar, A., Bera, S., Das, S., Sanjal, D., & Naskar, M. K. (2024). Structural and optical properties of silicon oxycarbide thin films using silane based precursors via sol-gel process. *Thin Solid Films*, 791, 140226. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2024.140226>
- Jin S. B., Lee J. S., Choi Y. S., Choi I. S., Han J. G., Hori M., (2013). Improving the gas barrier properties of a- $\text{SiOxCyNz}$  film at low temperature using high energy and suitable nitrogen flow rate. *Current Applied Physics* 13 885-889.
- Meneses, M., Meza, M. Á., Serrano, J. R., & Matsumoto, Y. (2024). Effect of thermal annealing on the luminescent and structural properties of the  $\text{SiOxCy}$  thin films by organic catalytic chemical vapor deposition. *Thin Solid Films*, 808, 140568. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2024.140568>
- Socha, R. P., Laajalehto, K., & Nowak, P. (2002). Influence of the surface properties of silicon carbide on the process of  $\text{SiC}$  particles codeposition with nickel. *Colloids And Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects*, 208(1-3), 267-275. [https://doi.org/10.1016/s0927-7757\(02\)00153-x](https://doi.org/10.1016/s0927-7757(02)00153-x)
- Zhang B., Wen X., Ma C., (2024). Nitrogen-doped bean-like  $\text{SiC}$ -based nanofibers for thermal insulation and electromagnetic wave absorption. *Journal of Alloys and Compounds* 1001-175173. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.175173>







> SALVADOR  
**GONZÁLEZ  
PALOMARES**



> RIGOBERTO  
**GONZÁLEZ  
RODRÍGUEZ**



> RAÚL  
**CASTILLÓN  
BENAVIDES**



# Semiconductores: Tecnología clave para la agricultura en invernaderos

**POR:** SALVADOR GONZÁLEZ PALOMARES, RIGOBERTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, RAÚL CASTILLÓN BENAVIDES

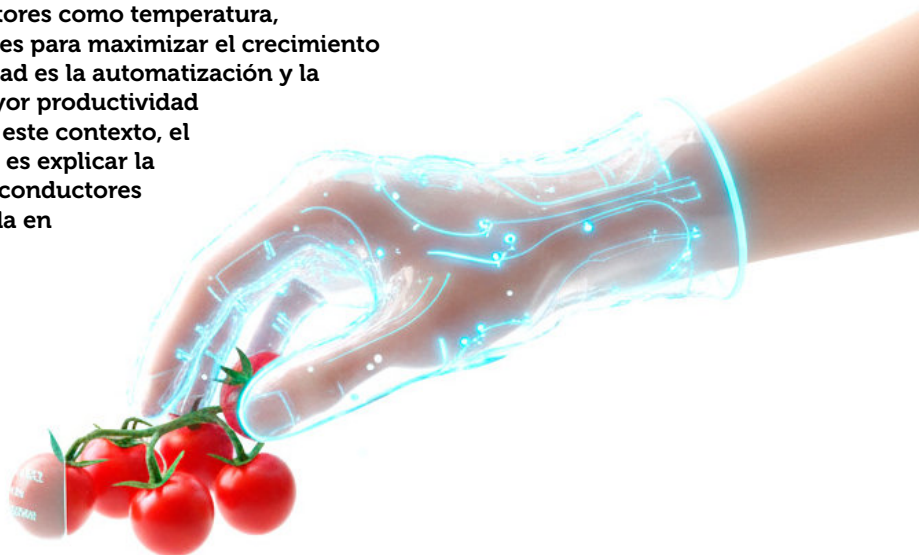
INVERNADERO INTELIGENTE, AUTOMATIZACIÓN, SENSORES.

## Resumen:

Los semiconductores son la base tecnológica de los invernaderos inteligentes. Son el material esencial que permite que todo el sistema de automatización y monitoreo funcione. Piensa en los semiconductores como el sistema nervioso del invernadero. Sin ellos, el invernadero no podría “sentir”, ni “pensar”. La función principal del invernadero inteligente es optimizar el crecimiento de las plantas al monitorear continuamente factores como la temperatura, la humedad y la luz, y luego ajustar los sistemas de riego y ventilación de manera precisa. Esto permite un uso más eficiente de los recursos y un mayor rendimiento de los cultivos. Un invernadero inteligente utiliza tecnología y sensores para monitorear y controlar de forma autónoma el ambiente de cultivo. Optimiza factores como temperatura, humedad, luz y nutrientes para maximizar el crecimiento de las plantas. Su finalidad es la automatización y la eficiencia, logrando mayor productividad con menos recursos. En este contexto, el objetivo de este artículo es explicar la importancia de los semiconductores en la producción agrícola en invernaderos.



Pica aquí  
Lee el artículo  
en línea





### Introducción

En un mundo donde la agricultura enfrenta desafíos crecientes como el cambio climático y la demanda de alimentos, la tecnología se ha convertido en una aliada indispensable. El invernadero inteligente representa la evolución de la agricultura tradicional, integrando sistemas avanzados de sensores, automatización y análisis de datos. Esta innovadora solución permite controlar de forma precisa cada variable del entorno de crecimiento, desde la humedad hasta los nutrientes del suelo, garantizando una producción optimizada, sostenible y con un uso más eficiente de los recursos (Abargues *et al.*, 2014).

Atrás quedaron los días de depender únicamente de los ciclos naturales y la intuición del agricultor. Hoy, la agricultura inteligente permite tener un control total del microclima interior, creando las condiciones perfectas para cada tipo de cultivo. Esta tecnología no solo busca aumentar la productividad, sino también reducir el consumo de agua, optimizar el uso de energía y prevenir enfermedades de las plantas de manera proactiva, marcando un nuevo estándar de precisión y calidad en la producción de alimentos (IICA, 2014), (foto 1).



**La función principal del invernadero inteligente es optimizar el crecimiento de las plantas al monitorear continuamente**



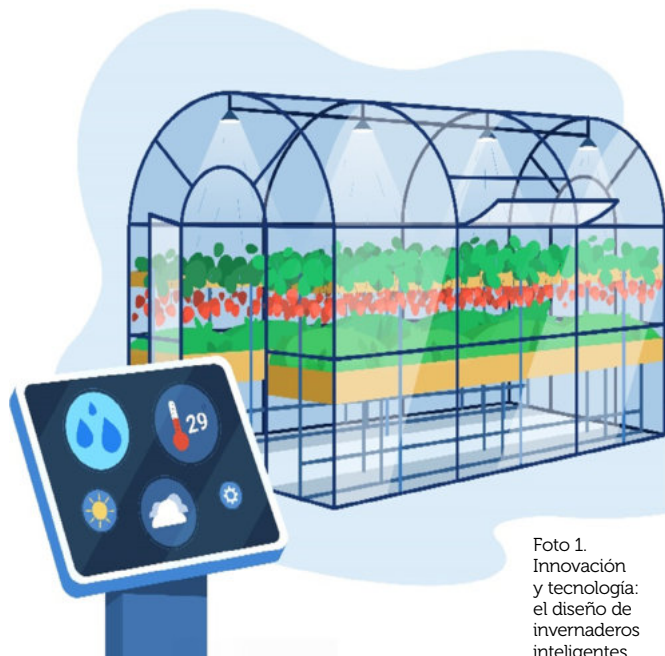


Foto 1.  
Innovación  
y tecnología:  
el diseño de  
invernaderos  
inteligentes.



Con base en lo anterior, el objetivo de este artículo es explicar la importancia de los semiconductores en la producción agrícola en invernaderos.

### **Funciones clave de un invernadero inteligente**

Un invernadero inteligente es un sistema agrícola avanzado que utiliza tecnología para monitorear y controlar de forma autónoma el entorno de crecimiento de las plantas, maximizando la eficiencia y el rendimiento de los cultivos (Lorenzo, 2016). Para ello, el invernadero inteligente utiliza:

- 1. Sensores y recolección de datos:** Los semiconductores son el corazón de todos los sensores que miden las condiciones del invernadero. Su capacidad para cambiar sus propiedades eléctricas en respuesta a estímulos externos es lo que los hace ideales para esta función (Mamani *et al.*, 2017).
- 2. Sensores de temperatura y humedad:** Utilizan semiconductores que alteran su resistencia eléctrica con los cambios de temperatura o humedad (Ray, 2016).
- 3. Sensores de luz (fotodiodos):** El material semiconductor genera una corriente eléctrica cuando recibe luz, lo que le

permite al sistema medir la intensidad lumínica y optimizar la iluminación artificial (Abargues *et al.*, 2014).

### **4. Sensores de humedad del suelo:**

Miden la humedad al detectar cómo la resistencia del suelo afecta a la conductividad de un semiconductor (IICA, 2014).

### **Automatización y control en un invernadero inteligente**

Una vez que los sensores recolectan los datos, necesitan ser procesados y utilizados para tomar decisiones (Lorenzo, 2016). Aquí es donde los semiconductores demuestran su poder:

- 1. Microprocesadores y microcontroladores:** Estos "cerebros" del sistema están hechos de miles de millones de transistores (dispositivos semiconductores). Ellos procesan los datos de los sensores y deciden qué acción tomar, como encender el sistema de riego, abrir las ventanas de ventilación o ajustar las luces LED (Mamani *et al.*, 2017).
- 2. Transistores:** Actúan como interruptores electrónicos, permitiendo que el microcontrolador active o desactive los motores de las bombas de agua, los ventiladores o las luces (Ray, 2016), (foto 2).

## **Publicidad**



**[www.lajornadadeoriente.com.mx](http://www.lajornadadeoriente.com.mx)**



**LaJornadadeOrientePuebla**



**La Jornada de Oriente**



**@jornadaoriente**



**[jornadapublicidad@yahoo.com.mx](mailto:jornadapublicidad@yahoo.com.mx)**

### **Oficina Puebla:**

**Manuel Lobato # 2109**

**Col. Bella Vista**

**C.P. 72500, Puebla, Pue.**

### **Tels Puebla:**

**01 (222) 243 48 21**

**237 85 49**

**237 76 29**





Foto 2. Semiconductores: la tecnología que impulsa la agricultura en invernaderos.



### Suministro y gestión de energía en un invernadero inteligente

Los semiconductores también son cruciales para el suministro de energía, especialmente si el invernadero usa fuentes renovables:

**1. Paneles solares:** Las células fotovoltaicas, que son la base de los paneles solares, están hechas de silicio semiconductor. Estas células convierten directamente la luz del sol en electricidad (Abargues *et al.*, 2014).

**2. Diodos y circuitos:** Permiten gestionar y distribuir la energía de manera eficiente por todo el sistema del invernadero (IICA, 2014).

### Conclusiones

Los semiconductores son los componentes que permiten que el invernadero inteligente pase de ser una simple estructura a un sistema biológico-tecnológico autosuficiente. La importancia de los semiconductores en la producción agrícola en invernaderos es



fundamental, ya que son la tecnología que permite transformar un invernadero tradicional en un sistema agrícola inteligente y automatizado (Lorenzo, 2016). Los semiconductores son la base de todos los sensores utilizados para monitorear el entorno. Su capacidad única para cambiar sus propiedades eléctricas con la temperatura, la luz, la humedad o la presión permite que estos sensores recopilen datos en tiempo real (Mamani *et al.*, 2017), (foto 3).



Foto 3. Los semiconductores son la base tecnológica de los invernaderos inteligentes.

Un invernadero inteligente es un sistema agrícola de alta tecnología que va más allá del simple control ambiental. Su función principal es utilizar una red de sensores para recopilar datos en tiempo real sobre cada variable clave: desde la temperatura y humedad del aire hasta el pH y la salinidad del suelo. Toda esta información se envía a un sistema central que, utilizando el poder de los microcontroladores y semiconductores, analiza la situación y toma decisiones automatizadas. Esto permite pasar de una gestión manual y reactiva, donde se actúa solo cuando un problema es visible, a un modelo predictivo y proactivo, donde se previenen las condiciones adversas antes de que afecten a los cultivos (Ray, 2016). Además de los sistemas básicos de monitoreo, los invernaderos inteligentes de última generación incorporan tecnologías más avanzadas. La Inteligencia Artificial y el Aprendizaje Automático son cruciales para procesar grandes volúmenes de datos históricos y en tiempo real. Esto permite a los agricultores predecir con precisión la aparición de plagas, optimizar los ciclos de riego y luz según la etapa de crecimiento de la planta, e incluso identificar patrones para mejorar la calidad y el sabor del producto final. En el futuro, se espera que la robótica y los drones se integren aún más para automatizar tareas como la siembra, el monitoreo aéreo y la cosecha (Abargues et al., 2014).

**Los semiconductores en la producción agrícola en invernaderos son fundamentales, su tecnología permite transformar un invernadero tradicional en un sistema agrícola inteligente y automatizado**





El impacto de los invernaderos inteligentes no solo es tecnológico, sino también económico y ambiental. A nivel económico, esta tecnología se traduce en un aumento significativo del rendimiento de los cultivos y en una reducción de los costos operativos, ya que se minimiza el desperdicio de agua, energía y fertilizantes. A nivel ambiental, la agricultura de precisión que permiten estos sistemas reduce la huella ecológica. Al usar solo los recursos necesarios, se contribuye a la conservación del agua, se disminuye el uso de productos químicos y se obtienen alimentos de mayor calidad de una manera más sostenible (IICA, 2014). El uso de los invernaderos inteligentes representa una oportunidad clave para el futuro de la agricultura en México. Dada la creciente demanda de alimentos y los desafíos climáticos del país, como la escasez de agua y las variaciones de temperatura, esta tecnología ofrece una solución escalable y sostenible. Al permitir un control preciso de los recursos y del microclima, los invernaderos inteligentes no solo aumentan significativamente los rendimientos y la calidad de los cultivos, sino que también contribuyen a la

seguridad alimentaria y fortalecen la posición de México en los mercados de exportación. Si bien la inversión inicial y la capacitación son barreras a considerar, su adopción es un paso fundamental hacia una producción agrícola más eficiente, resiliente y competitiva (IICA, 2014; Ray, 2016).

#### REFERENCIAS

- Abargues, R., Rodríguez-Canto, P. J., Albert, S., Suarez, I., y Martínez-Pastor, J. (2014). Plasmonic optical sensors printed from Ag-PVA nanoinks. *Journal of Materials Chemistry C*. 2:908-915.
- [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_nlinks&pid=S2448-5691201900020030200001&lng=en](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S2448-5691201900020030200001&lng=en)
- IICA. (2014). *Manual de Agricultura de Precisión*. Editores: Mantovani EC, Magdalena C (Eds.). Prociur, IICA. Montevideo, Uruguay. 178 pp.
- <https://repositorio.iica.int/items/37234767-6b65-4844-86f7-60ee88a41ee8>
- Lorenzo, P. (2016). Sombreado. Estrategias de Manejo en Función de las Variables Climáticas y la Fenología del Cultivo. *Jornadas sobre el Control del Clima en el Invernadero*. IFAPA La Mojonera. Almería, España. 42 pp.
- Mamani, M., Villalobos, M., y Herrera, R. (2017). Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. *Ingeniare*. 25:599-618.
- [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052017000400599&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052017000400599&script=sci_abstract)
- Ray, P.P. (2016). A survey of IoT cloud platforms. *Fut. Comput. Informat. J.* 1:35-46.
- <https://doi.org/10.1016/j.fcij.2017.02.001>



# EN LÍNEA debate

Entre palabras / Descubrimos la verdad

## 1er Lugar

**EN NOTICIEROS DE 2 A 3 PM DE LUNES A VIERNES  
EN LA RADIO DE PUEBLA**

**1 de cada 4  
radioescuchas**  
del total de 65 años y más

**25% de toda  
la audiencia**  
de noticieros a esa hora

**La Ke Buena**







> MARÍA DEL  
RAYO **MORALES  
DÍAZ**



> LETICIA  
**TREVIÑO YARCE**



> ENRIQUE  
**ROSENDO  
ANDRÉS**



DOI:  
10.60647/hxzf-h394

# Metales, aislantes y semiconductores: la ciencia detrás de la electricidad

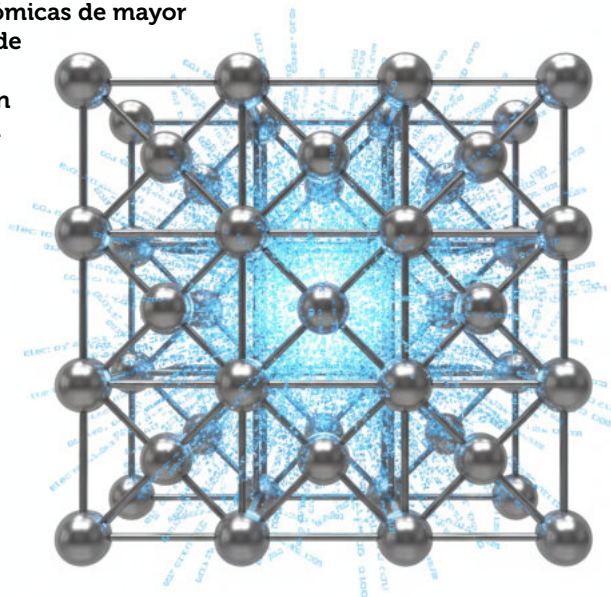
**POR:** MARÍA DEL RAYO MORALES DÍAZ, LETICIA TREVIÑO YARCE  
Y ENRIQUE ROSENDO ANDRÉS

**ELECTRONES, CONDUCTIVIDAD, ENERGÍA**

**E**n la naturaleza existen distintos tipos de sólidos que pueden ser estudiados desde su estructura atómica para interpretar las propiedades que los identifican. La comprensión de los átomos y la estructura que los compone es útil para analizar lo que sucede en el interior de los materiales y explicar algunas propiedades como la conductividad. Una de las partículas subatómicas de mayor importancia es el electrón, ya que, a partir de la comprensión del comportamiento de los electrones, se puede entender la generación de enlaces entre elementos en relación con los niveles de energía que presenta, los cuales se combinan en bandas de energía, siendo la banda de valencia y la banda de conducción elementos importantes para la comprensión del comportamiento conductivo de los materiales. La implementación de los diagramas de bandas de energía son recursos visuales que son útiles para comprender el comportamiento de los electrones en los materiales y asimilar la diferencia que existe entre los metales, los aislantes y los semiconductores.



**Pica aquí**  
Lee el artículo  
en línea



En la naturaleza de los materiales existen muchas variedades de sólidos con características y propiedades diferentes. Los metales son como autopistas abiertas que dejan pasar la corriente sin resistencia; los aislantes, se comportan como muros que bloquean el paso de la electricidad, y existen también los semiconductores, curiosos materiales capaces de actuar como conductores o como aislantes, según las condiciones en que se encuentren.

Sabías que... hay una disciplina científica especializada en el estudio de la estructura, las propiedades y el procesamiento de los materiales llamada ciencia de materiales, es una ciencia multidisciplinaria que integra conocimientos de física, química y matemáticas que tiene la finalidad de entender y manipular la materia a nivel atómico y molecular.

### La clave está en los electrones

La mayoría de las propiedades de los sólidos pueden ser explicadas por el comportamiento de sus electrones en relación con la forma en la que se encuentran organizados dentro de los materiales y, sobre todo, en la interacción de los átomos en el interior del sólido; una de estas propiedades es la conductividad, la cual puede ser comprendida como la habilidad que tiene un objeto de conducir corriente eléctrica. La comprensión de la electricidad ha sido un proceso gradual desarrollado a lo largo de varios años con contribuciones de renombrados científicos como Tales de Mileto, Benjamin Franklin, Michael Faraday y Nikola Tesla entre muchos otros.

Para entender realmente cómo funciona un material necesitamos mirar a sus piezas más pequeñas: los átomos; de acuerdo con la teoría atómica de Bohr, los átomos tienen una estructura basada en un núcleo formado por protones con carga positiva y neutrones con carga neutra. Alrededor de este núcleo, se encuentran los electrones con carga negativa posicionados en orbitales, los cuales se distribuyen en niveles de energía, como si fueran los pisos de un edificio.

Los electrones se posicionan primero en los orbitales de menor energía y siguen un orden específico para pasar hacia los de mayor energía; para determinar el llenado de los orbitales, se utiliza como recurso el diagrama de Moeller:

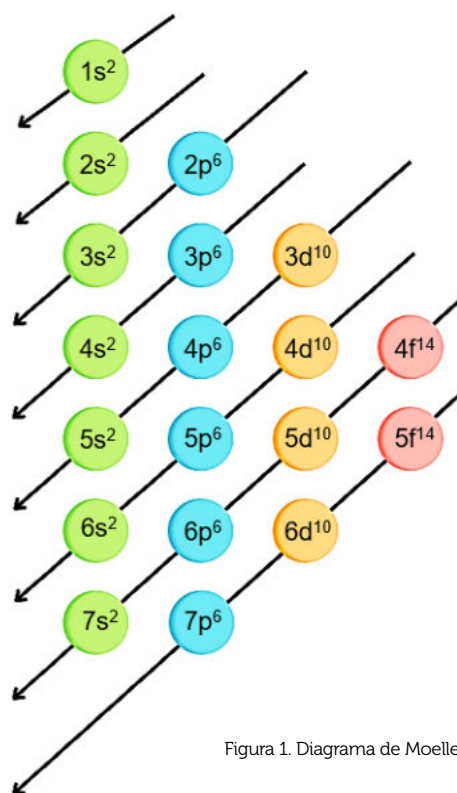


Figura 1. Diagrama de Moeller

Cada nivel está representado por un número asignado llamado número cuántico principal "n", el cual inicia en el nivel 1 y aumenta en unanimidad. Dentro de cada nivel se generan divisiones más pequeñas llamadas subniveles que son orbitales con distintas formas, los cuales se denominan s, p, d y f.

En la tabla periódica, los elementos están ordenados de acuerdo con su número atómico, el cual indica el número de protones presentes en el núcleo del átomo y, de manera indirecta, también indica el número de electrones, debido a que la carga del átomo es considerada neutra, por lo tanto, el número de electrones y protones es el mismo; el número atómico es imprescindible para obtener la configuración electrónica del átomo, la cual describirá la distribución de electrones dentro de un átomo.

### El caso del silicio, la arena que cambió al mundo

El silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre (después del oxígeno), ya que puede encontrarse en la arena de playa, sin embargo, el que se uti-



liza en la industria de los chips no proviene directamente de esta fuente, ya que necesita someterse a un proceso de purificación tan extremo que el silicio final alcanza una pureza superior al 99.9999%.

Desde que se inventó el primer transistor en 1947, el silicio es un semiconductor por excelencia que ha protagonizado una revolución tecnológica. En la actualidad, en un chip del tamaño de una uña, pueden convivir más de 10 mil millones de transistores, todos hechos con este material.

El silicio tiene el número atómico 14, por lo tanto, cuenta con 14 protones y 14 electrones que deben ser organizados en relación con su configuración electrónica:

Una de las partes más importantes de la

Si: 14 electrones:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

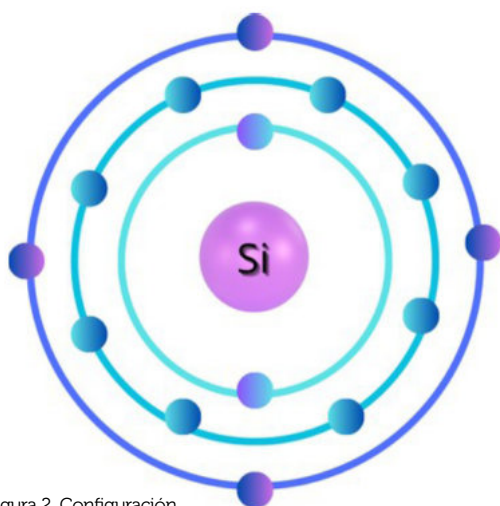


Figura 2. Configuración electrónica del Silicio

configuración electrónica es el último nivel de energía; los electrones presentes en el último nivel se denominan electrones de valencia y son los responsables de la generación de enlaces entre elementos para la formación de moléculas mediante la creación de orbitales moleculares. El silicio tiene cuatro electrones de valencia que son los responsables de la generación de enlaces con otros elementos.

### De los átomos a las bandas de energía

Cuando los átomos se juntan para formar un sólido, los niveles de energía se combinan y aparecen grandes "bloques de departamentos", que en física se conocen como

bandas de energía, que se generan cuando dos átomos se acercan lo suficiente y sus orbitales se traslapan. En los sólidos cristalinos, los átomos están tan cercanos entre sí que los electrones de valencia constituyen un sistema único de electrones comunes en la estructura, generando dos bandas importantes: la banda de valencia que es donde se encuentran los electrones que mantienen unidos a los átomos y la banda de conducción que es donde los electrones pueden moverse libremente y transportar corriente.

Un electrón en la banda de valencia puede aumentar su energía y pasar hacia la banda de conducción, a fin de contribuir en la generación de corriente eléctrica y es gracias a este concepto que se puede comprender la capacidad conductiva de los materiales. Entre la banda de valencia y la banda de conducción puede haber un "espacio vacío" que los electrones no pueden cruzar tan fácilmente, conocida como banda prohibida, y es el espesor de este espacio el que puede determinar si un material es conductor, aislante o semiconductor.

### La puerta de los conductores, aislantes y semiconductores

Metales como el cobre o la plata pueden ser pensados como una puerta abierta: si el espacio entre la banda de valencia y la banda de conducción es muy pequeño o si incluso las bandas se encuentran traslapadas, los electrones en la banda de valencia pasarán fácilmente hacia la banda de conducción y muchos podrán contribuir a la generación de corriente eléctrica; al igual que en una puerta abierta, los materiales conductores permiten el paso de los electrones.

Aislantes como el vidrio o la madera son como una puerta cerrada con candado: si el "espacio prohibido" entre la banda de valencia y la banda de conducción es muy grande, los electrones no pueden pasar hacia la banda de conducción y esto impide la generación de corriente eléctrica.

Semiconductores como el silicio son como una puerta entreabierta: cuando el espacio entre la banda de valencia y la banda de conducción no es tan grande, con un pequeño empujón de luz o calor, los electrones pueden ir hacia la banda de conducción, y esa precisamente es la magia que hace que tengan la capacidad de comportarse como conductores o aislantes según se requiera.

# MUNICIPIOS PUEBLA

Infórmate del **acontecer diario** en cada una de las **regiones del estado** a través de **Municipios Puebla**

**PARA NOSOTROS TODAS Y TODOS SON IMPORTANTES, POR ESO  
DESDE 2010 LLEGAMOS A LOS 217 MUNICIPIOS DE LA ENTIDAD**



Si algo pasa en tu comunidad o municipio nos  
lo puedes hacer saber a través de:

 Municipios Puebla  @MunicipiosPue  @municipiospuebla

**WWW.MUNICIPIOSPUEBLA.MX**

En **Municipios Puebla** contamos la historia y la tuya, puede ser **la más importante.**





Figura 3. Diagrama de bandas de energía de materiales aislantes, semiconductores y metales.

### La nueva generación de los materiales

Aunque el silicio es uno de los materiales más utilizados en la generación de dispositivos, los científicos realizan investigaciones para proponer nuevos materiales que presenten propiedades únicas para ser utilizados en la innovación tecnológica; algunos de estos materiales son:

- Arsenuro de galio (GaAs): por sus características físicas y su estructura química, es un material ideal para aplicaciones electrónicas de alta frecuencia como radares y comunicaciones.
- Disulfuro de molibdeno (MoS<sub>2</sub>): es un material con la capacidad de formar láminas delgadas, lo cual lo hace útil para la electrónica flexible.
- Perovskitas híbridas: con materiales caracterizados por su alto rendimiento, conductividad y eficiencia en la absorción de luz.
- Calcogenuros de antimonio (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>): son materiales económicos y abundantes que originan un bajo impacto ambiental; además, por su capacidad de absorción de luz son ideales para el diseño de celdas solares.

La investigación en nuevos materiales es necesaria para la generación de avances tecnológicos, ya que cada material tiene características únicas que podrían ser aprovechadas en el diseño de nuevos dispositivos como pantallas flexibles, paneles solares transparentes o computadoras avanzadas.

Aún hay un largo camino por recorrer, pero

### REFERENCIAS

- Acosta, V. (1975). El modelo de Bohr. En V. Acosta, *Curso de Física Moderna* (págs. 124-133). México: Oxford University Press.
- Anuradha Saini, R. K. (2021). Introduction and brief history of thermoelectric materials. En R. Kumar, *Thermoelectricity and Advanced Thermoelectric Materials* (págs. 1-19). Chandigarh: Elsevier.
- ChemTalk. (s.f.). *Aufbau Principle*. Obtenido de <https://chemistrytalk.org/aufbau-principle/>
- Clark, J. (s.f.). *Atomic Orbitals*. Obtenido de [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\\_Textbook\\_Maps/Supplemental\\_Modules\\_\(Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\)/Electronic\\_Structure\\_of\\_Atoms\\_and\\_Molecules/Atomic\\_Orbitals](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Electronic_Structure_of_Atoms_and_Molecules/Atomic_Orbitals)
- David M. Hanson, E. H. (2005). Bonding and Antibonding Orbitals. *Quantum States of Atoms and Molecules*.
- Elmesery, M. (03 de 05 de 2025). *The Power of Valence Electrons*. Obtenido de <https://praxilabs.com/en/blog/2024/03/14/the-role-of-valence-electrons/>
- El-Saba, M. H. (2014). Energy Band Theory & Classification of Solids. En M. E.-S. Lab, *Electronic Engineering Materials & Nanotechnology* (págs. 307-435). Egipto: Hakim Press.
- Monique Combescot, O. B.-M. (2008). The many-body physics of composite bosons. *Physics Reports*, 215-320.
- Ohring, M. (2002). Chapter 1 - A Review of Materials Science. En M. Ohring, *Materials Science of Thin Films* (págs. 1-56). New Jersey: Academic Press.
- Quilez, J. (2025). Attempts to account for chemical periodicity in terms of the electronic structure of elements: Thomson, Bohr and Madelung. *Foundations of Chemistry*, 1-32.

es un hecho que comprender las propiedades de los materiales ha contribuido al desarrollo de la ciencia y la tecnología, los metales con sus propiedades conductivas posibilitan su uso en la infraestructura eléctrica, los aislantes al no conducir electricidad garantizan la seguridad y el control de sistemas eléctricos y los semiconductores han revolucionado la electrónica debido a la capacidad que tienen de modificar su conductividad, de esta forma se puede comprender la razón por la cual los metales, los aislantes y los semiconductores son los protagonistas de una gran historia tecnológica.

EN EL **CANAL 3.1**  
DE SU T.V.



**LUN-VIE**

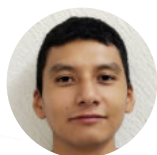
**05:47 - 08:00 hrs**

**LUN-VIE**

**14:30 -15:00 hrs**







> EDWUIN  
DE JESÚS  
**HERNÁNDEZ  
MENDIETA**



> FABIOLA  
GABRIELA **NIETO  
CABALLERO**



> ANA LUZ  
**MUÑOZ ZURITA**



# La otra cara del $\text{TiO}_2$ como semiconductor

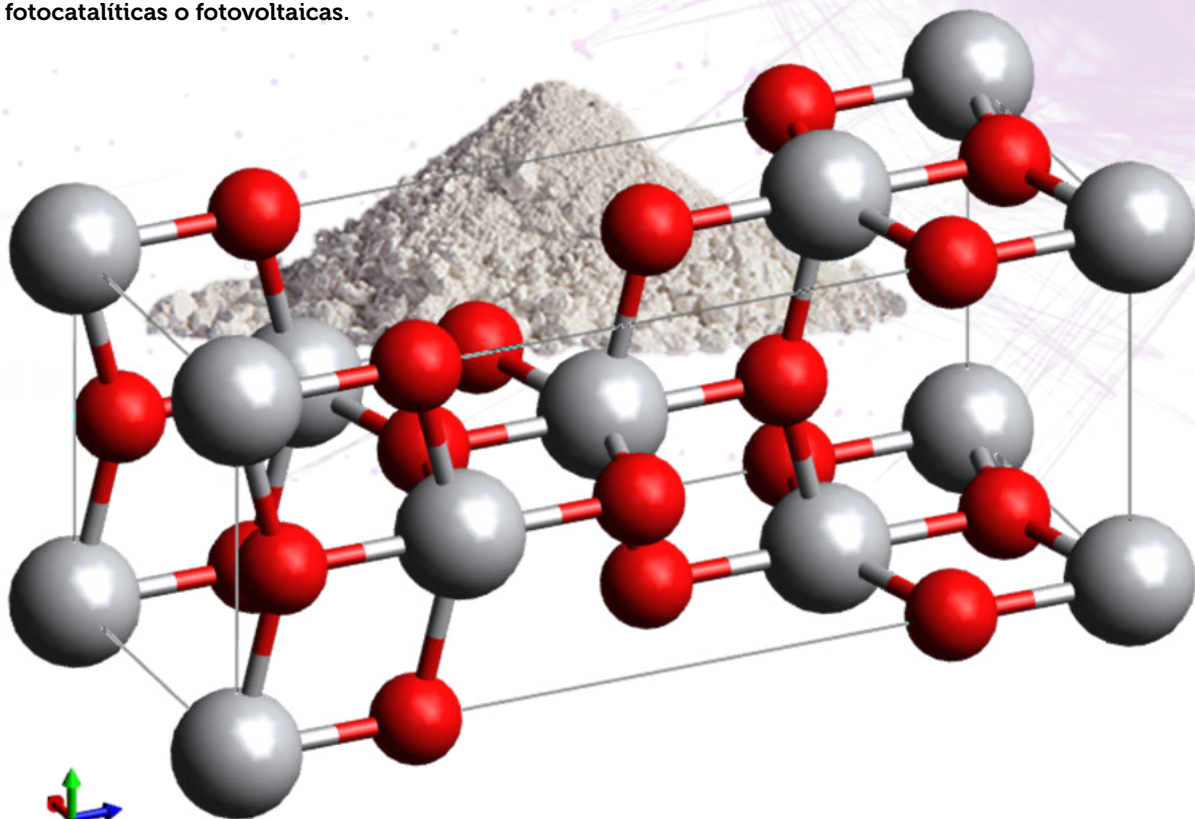
**POR:** EDWUIN DE JESÚS HERNÁNDEZ MENDIETA, FABIOLA GABRIELA NIETO CABALLERO Y ANA LUZ MUÑOZ ZURITA

**SEMICONDUCTOR, ANATASA, FOTÓLISIS.**

**E**l dióxido de titanio es el principal pigmento blanco a nivel global, sus aplicaciones son amplias en la industria, sin embargo, su aplicación en fotólisis el volumen es menor. La superficie del patrón tridimensional de la red cristalina de  $\text{TiO}_2$  como semiconductor puede inducir distintos mecanismos de separación de partículas portadoras de carga, mediante técnicas de deposición y el uso de aditivos facilitan la formación superficial del material, lo que puede beneficiar sus propiedades en aplicaciones fotocatalíticas o fotovoltaicas.



**Pica aquí**  
Lee el artículo  
en línea



## Semiconductores

Los semiconductores son materiales de estado sólido cuya conductividad eléctrica es inferior a la de un material conductor y superior a la de un dieléctrico. Los semiconductores están formados por una estructura cristalina que consiste en átomos enlazados formando una molécula, este enlace químico recibe el nombre de enlace covalente, y comparte electrones de su último orbital de energía de los átomos. Los electrones están austeros de movimientos con condiciones térmicas bajas, para cambiar ese estado se aplica un gradiente de mayor temperatura suficiente para causar vibraciones térmicas, provocando la ruptura de los enlaces covalentes, en otras palabras, la liberación del electrón, por consiguiente, se dispone una vacante, que debe ser ocupada por otro electrón disponible del enlace covalente; a la vacante se le puede considerar como un desplazamiento (opuesto al del electrón), a esa ausencia de electrón se le considera como una partícula portadora de carga positiva denominada hueco.

## Ordenamiento de átomos o cristalinidad

La cristalinidad en semiconductores es la posición matricial de los átomos repetitiva o periódica a lo largo de distancias atómicas, esta red cristalina es formada por una celda unitaria; cuando un material no presenta cristalinidad se le denomina como amorfo. El conjunto de distribución atómica gobierna el comportamiento de un semiconductor, ya sea en la estructura de bandas, conductividad eléctrica, incluso la compatibilidad de impurezas por combinar. La celda unitaria de un cristal se define por una red espacial en tres dimensiones de puntos o red de Bravais (A. Bravais desarrolló el estudio de las simetrías de las redes tridimensionales), es también conocido por lattice (por su término en inglés); a partir de la celda unitaria es posible localizar los planos o índices de Miller mediante un sistema de coordenadas (Redes de Bravais – Estructuras Cristalinas, 2019).

## Semiconductor $\text{TiO}_2$

El dióxido de titanio  $\text{TiO}_2$  es ampliamente empleado como pigmento blanco para diferentes propósitos industriales como tintes para alimentos, cosméticos, farmacéutica entre otros (Estelle *et al.* 2022), sin embargo, también tiene la capacidad de operar como

un semiconductor de tipo N, se encuentra en la naturaleza en tres fases cristalográficas, brookita, rutilo y anatasa, las cuales cada una posee distintas características químicas y físicas; estas dos últimas son materiales polimorfos, es decir, compuestos que comparten la misma fórmula química, pero poseen distintas estructuras cristalinas y son las estructuras más empleadas del  $\text{TiO}_2$  (Hanaor *et al.*, 2010)

De los semiconductores aplicados en el área de fotocatalisis, el  $\text{TiO}_2$  en la forma cristalina anatasa preferiblemente es el material que ha dominado sobre otros (Hashimoto *et al.* 2014), debido a su alta área superficial y alta densidad de sitios activos en los que se puede llevar a cabo reacciones del tipo óxido-reducción (Hermann *et al.*, 1995), la brecha de la banda de energía ( $E_g$ ) es igual a 3.2 eV (Hanaor *et al.*, 2010) entre la banda de valencia y la de conducción, por tanto, el semiconductor es activo con mayor probabilidad con la radiación electromagnética de longitud de onda de 387 nm que incide sobre el material.

---

**Los semiconductores están formados por una estructura cristalina que consiste en átomos enlazados formando una molécula**

---





Las propiedades del  $\text{TiO}_2$  en la fase anatasa depende en gran medida del tamaño de la partícula y morfología, la calidad también puede variar de acuerdo con los métodos de deposición físicos o químicos como sol-gel, Doctor Blade, hidrotérmico, hidrólisis y método hidrotérmico asistido por microondas. (Malligavathy *et al.*, 2016)

Durante la deposición de los métodos químicos el uso de los ácidos carboxílicos puede inducir una superficie con un arreglo ordenado, la red iónica del  $\text{TiO}_2$  interactúa a través de los puentes H; en cuanto a la presencia de protones del ácido, actúan como un agente quelante formando un complejo de iones, y para el caso del titanio reacciona con ligandos de oxígeno, promoviendo una estructura coordinada, se ha demostrado que el ácido acético ayuda a prevenir una estructura amorfa del  $\text{TiO}_2$  (Leyva-Porras *et al.*, 2015), y a temperatura ambiente este ácido tiene una fuerte interacción para dar lugar

a la formación de los planos (101) (Grinter *et al.*, 2012) y (001), este último mejora el proceso de foto-oxidación en donde se tiene trampas para electrones y se presenta como terminación superficial del material, también presenta poca actividad con el radical OH; se sugiere entonces que existe una sinergia entre ambos planos, siendo esta una razón de ser un buen foto-catalizador (Guanxing *et al.*, 2021).

El plano (001) exhibe vacancias de oxígeno, estos espacios inducen uniones con otros compuestos químicos. En las superficies del plano (001) se observa el arreglo de iones  $\text{Ti}^{3+}$  y  $\text{O}^-$  (fig. 2) donde se plantea una concentración de trampas para huecos debido al  $\text{O}^-$ ; en cuanto al plano (101) se tiene una concentración de trampas para electrones en  $\text{Ti}^{3+}$ , entonces se tiene un área enfocada a la oxidación (plano (001)) y otra que facilita la reducción (plano (101)) (Bokare *et al.*, (2021).

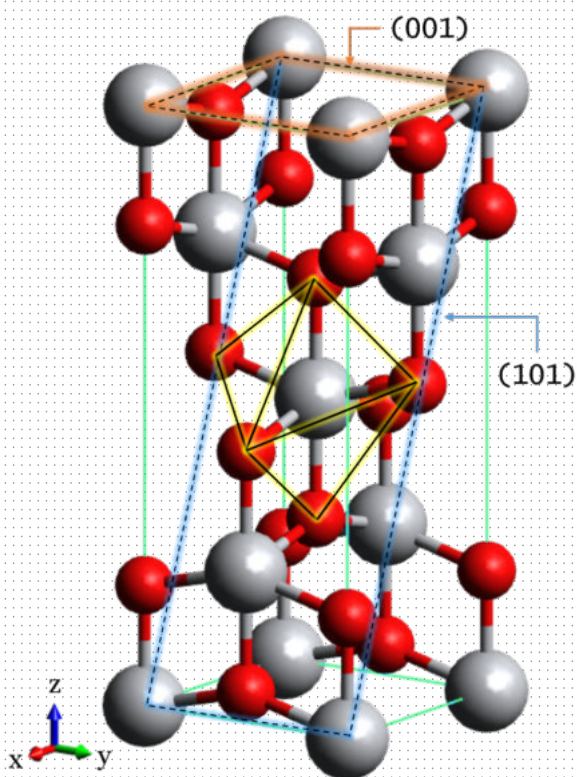


Figura 1. Estructura del grano de la anatasa donde las esferas blancas son el titanio y las rojas el oxígeno; se observa en el centro un octaedro distorsionado  $\text{TiO}_6$  iluminado en amarillo. Los planos cristalográficos (001) y (101) están en relación a los ejes x-y-z (en ese orden). Modelo 3D realizado en Avogadro software a partir de los datos de Mehl *et al.* (2017)

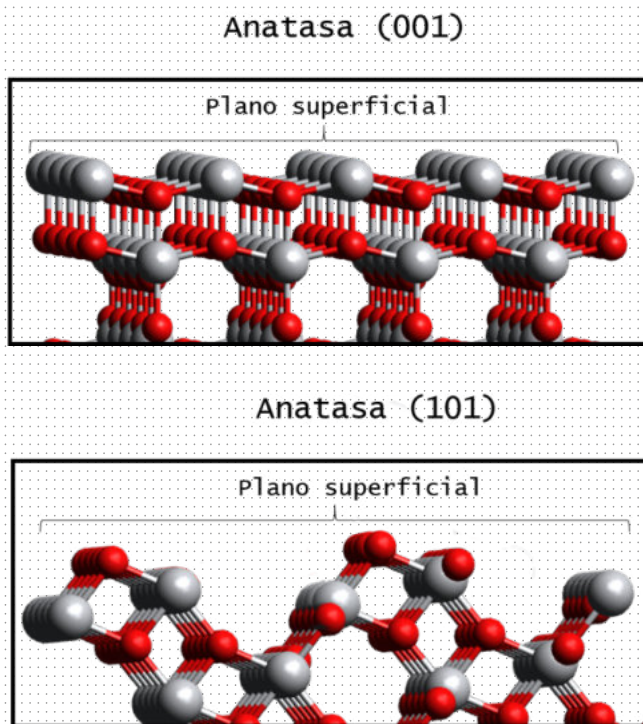


Figura 2. Superficies de la fase anatasa en los planos (001) y (101) de izquierda a derecha respectivamente; las esferas blancas son el titanio y las rojas el oxígeno. Modelo 3D realizado en Avogadro software.

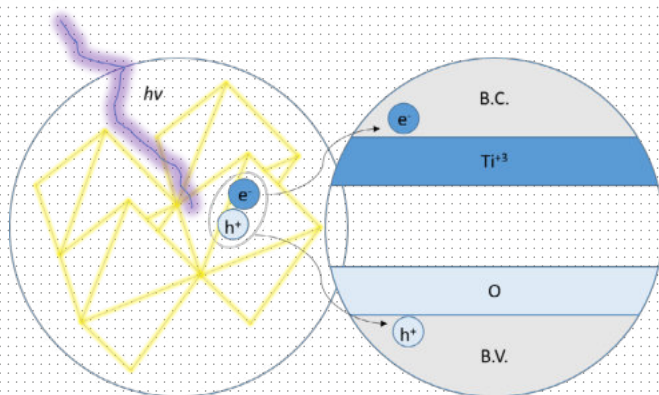
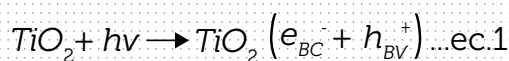


Figura 3.  
Representación  
de los  
portadores  
de carga  
fotogenerados,  
considerando  
al conjunto  
de planos  
como una  
unidad donde  
trascurren  
reacciones  
de óxido-  
reducción.

La expresión matemática (ec.1) describe la energía necesaria del fotón ( $h\nu$ ) para dividir a los portadores de carga negativos y positivos, excitando al electrón a la banda de conducción (BC) y permaneciendo el hueco en la banda de valencia (BV), para después separarse ambas partículas sobre la superficie y luego volverse a recombinar (fig. 3) (Kubacka *et al.*, 2011).

### Aplicación de materiales semiconductores

Los semiconductores tienen un papel protagónico en dispositivos electrónicos como diodos y transistores, o como dispositivos ópticos, diodos emisores de luz, láseres y foto-detectores (Takahashi, 2023), pero, además, son empleados para procesos de fotocatalisis como la descomposición del agua en hidrógeno y oxígeno (efecto Honda-Fujishima o fotólisis) (Hashimoto, 2014), esto es, una reacción de catálisis que toma lugar debido a la absorción de luz sobre un semiconductor, generando pares de electrón-hueco que, a su vez, generan radicales libres. En sistemas orgánicos a causa de la absorción de la luz el anión hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) al oxidarse a radical hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ), los electrones fotogenerados reducen el oxígeno absorbido a radical anión superóxido ( $\text{O}_2^-$ ), el cual es reducido de radical hidropéroxido ( $-\text{OOH}$ ) a peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y finalmente a agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) o permanecer como radicales  $-\text{OOH}$ . (Coronado *et al.*, 2013)

### Conclusión

El  $\text{TiO}_2$  en fase anatasa es un semiconductor utilizado en aplicaciones de fotólisis, en la síntesis de este material mediante proceso sol-gel (por ejemplo) favorece esta estructura cristalina cuando se adiciona como catalizador de reacción ácidos carboxílicos, estos promueven la formación superficial de planos cristalográficos que facilitan la separación de cargas utilizadas en oxidar y reducir especies químicas, fenómeno utilizado en la remediación del medio ambiente.

### REFERENCIAS

- Takahashi, T. (2023). Encyclopedia of Condensed Matter Physics (Second Edition) (T. Chakraborty, Ed.). Elsevier.
- Hashimoto, K. (2014, junio). The world of titanium dioxide. The University of Tokyo. [https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/en/features/f\\_00057.html](https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/en/features/f_00057.html)
- Satoca, D. M. (2010). Fotoelectroquímica de electrodos semiconductores nanocristalinos: proceso de transferencia de carga y estrategias de mejora de la fotoactividad. Rua.ua.es. [https://rua.ua.es/bitstream/10045/20503/1/tesis\\_damian.pdf](https://rua.ua.es/bitstream/10045/20503/1/tesis_damian.pdf)
- Estelle L., Victorien J. (2022). Metal Oxides for Optoelectronics and Optics-Based Medical Applications (S. S. J. P. Mohammad, Ed.). Elsevier.
- Hanaor D., Sorrel C. C. (Ed.). (2010). Review of the anatase to rutile phase transformation (Vol. 46). Springer. (Dorian A. H. Hanaor, 2010)
- Hermann J.M., Hoffmann M.P., Martin S.T., Choi W., Bahnemann D.W. (1995). Environmental applications of semiconductor photocatalysis. Chemical Reviews, 95(1), 69–96.
- Redes de Bravais. (2019, mayo). Grupo.us.es. <https://grupo.us.es/derematerialia/estructuras-cristalinas/redes-de-bravais/>
- Malligavathy M., Iyyapushpam S., Nishanthi S. T., Pathinettam-Padiyan D.. (2016). Optimising the crystallinity of anatase  $\text{TiO}_2$  nanospheres for the degradation of Congo red dye. Journal of Experimental Nanoscience, 11(13).
- Leyva-Porras C., Toxqui-Teran A., Vega-Becerra O., Miki-Yoshida M., Rojas-Villalobos M., García-Guaderrama M., Aguilar-Martínez J.A.. (2015). Low-temperature synthesis and characterization of anatase  $\text{TiO}_2$  nanoparticles by an acid assisted sol-gel method. Journal of Alloys and Compounds, 647, 627–636.
- Grinter D. C., Nicotra M., Thornton G.. (2012). Acetic Acid Adsorption on Anatase  $\text{TiO}_2(101)$ . The Journal of Physical Chemistry C, 116(21), 11643–11651.
- Guanxing L., Ke F., Yang O., Wentao Y., Hangsheng Y., Ze Z., Yong W. (2021). Surface study of the reconstructed anatase  $\text{TiO}_2(001)$  surface. Progress in Natural Science: Materials International, 31(1), 2–13.
- Mehl M. J., Hicks D., Toher C., Levy O., Hanson R. M., Hart G., Curtarolo S. (2017). The AFLOW Library of Crystallographic Prototypes: Part 1. The AFLOW Library of Crystallographic Prototypes: Part 1. Computational Materials Science, 136, 316.
- Bokare A., Erogbogbo F. (2021). Photocatalysis and Li-Ion Battery Applications of 001 Faceted Anatase  $\text{TiO}_2$ -Based Composites. Chemistry & Material Sciences, 4(3), 501–503.
- Kubacka A., Fernández-García M., Colón G. (2011). Advance Nanoarchitectures for Solar Photocatalytic Applications. Chemical Reviews, 112(3). <https://doi.org/10.1021/cr100454n>
- Coronado, J. M., Fresno, F., Hernández-Alonso, M. D., & Portela, R. (2013). Design of Advanced Photocatalytic Materials for Energy and Environmental Applications. En Green energy and technology. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5061-9>





> ADRIANA  
HERNÁNDEZ  
TENIZA



> ENRIQUE  
ROSENDO  
ANDRÉS



> JOSE CARLOS  
ZEPEDA MEDINA



DOI:  
10.60647/6rz0-0b82

# Semiconductores Transparentes, la ciencia que abre ventanas al futuro

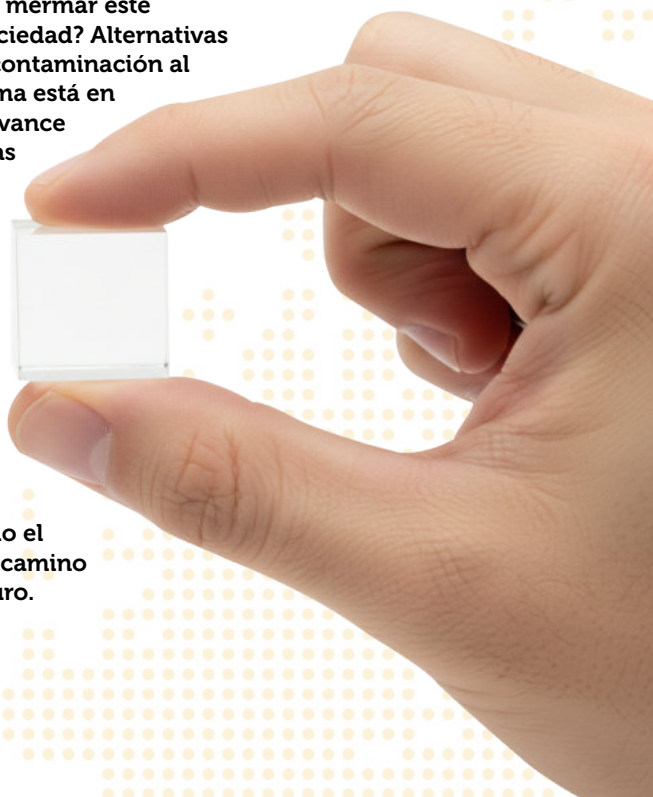
**POR:** ADRIANA HERNÁNDEZ TENIZA, ENRIQUE ROSENDO ANDRÉS Y JOSE CARLOS ZEPEDA MEDINA

SEMICONDUCTOR, ÓXIDOS CONDUCTORES TRANSPARENTES,  
CELDA SOLARES, DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS



**Pica aquí**  
Lee el artículo  
en línea

**L**a contaminación ambiental es un problema latente en diversos países a consecuencia de las diversas actividades económicas que generan efectos colaterales a la naturaleza y al mismo ser humano. Entonces, ¿qué podríamos hacer para mermar este problema y a la vez permitir desarrollo en la sociedad? Alternativas han sido implementadas para contrarrestar la contaminación al medio ambiente, no obstante, parte del problema está en la generación de tecnología necesaria para el avance en diversos ámbitos, dispositivos y herramientas que son tóxicos y altamente contaminantes. Científicos han apostado por investigaciones que permitan retroceder en este dilema, explorar nuevos materiales que sean novedosos, eficientes, abundantes en la naturaleza y, sobre todo, no tóxicos al medio ambiente: semiconductores transparentes, materiales capaces de dar alta funcionalidad a la nueva tecnología. Los semiconductores transparentes no solo apuestan a dispositivos modernos, también imponen nuevas ideas para la generación de energía limpia y sostenible, disponible para todo el mundo, por lo que estos materiales marcan un camino vanguardista con la mirada puesta hacia el futuro.



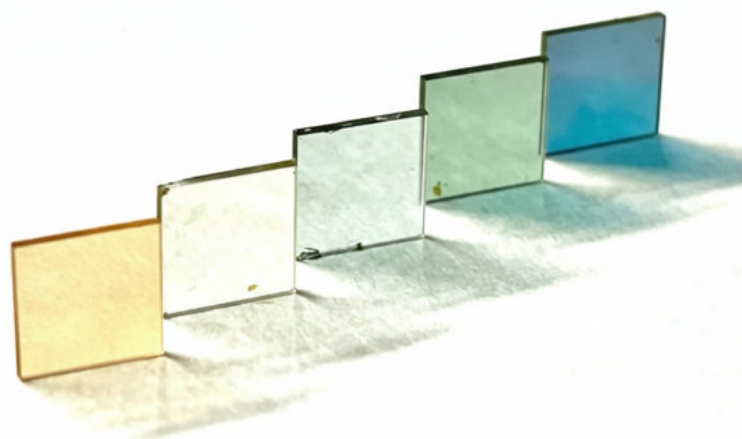
El aumento de la contaminación ambiental debido a diversas actividades económicas es un problema que consume al mundo año con año, debido a esta situación, en diversos países se impulsa el desarrollo de tecnologías limpias que originen el menor daño posible al medio ambiente. En este sentido, diseñar materiales que generen energía limpia y aparatos de uso común menos contaminantes en las actividades humanas, es un paso importante para disminuir la contaminación y los riesgos que estos conlleva. Entonces, ¿cuál es el siguiente paso que debe darse para realizar cambios significativos que contrarresten el impacto al medio ambiente y a la vez permita el desarrollo en la sociedad?

El uso de materiales para elaborar dispositivos electrónicos y fotovoltaicos<sup>1</sup> tiene una parte importante en el avance de la tecnología, pues la mayoría de estos materiales son tóxicos tanto en su fabricación como en el posterior uso de cualquier dispositivo. Actualmente, se está innovando en materiales que permitan abordar esta problemática desde distintos puntos, uno de ellos es la elección de materiales que sean verdaderamente funcionales y a la vez no dañen al medio ambiente. Afortunadamente, estos semiconductores pueden ser implementados en la mayoría de los dispositivos electrónicos de la vida cotidiana como en pantallas táctiles y flexibles de computadoras, teléfonos inteligentes y tabletas electrónicas, pantallas LCD, en sensores de gases tóxicos y en la innovación de paneles solares.

### **La mirada está puesta en semiconductores de alta tecnología.**

Los llamados Óxidos Conductores Transparentes, por sus iniciales en inglés TCO (Transparent Conductor Óxide), se consideran semiconductores para aplicaciones avanzadas al ser compatibles con tecnología de capa delgada. Son seleccionados al presentar:

- Gran conductividad eléctrica similar a materiales conductivos como la plata o el cobre.
- Buenas propiedades ópticas como alta transparencia en luz visible lo que permite una infinidad de usos en dispositivos como pantallas o ventanas inteligentes.
- Relativo bajo costo en comparación con semiconductores utilizados por excelencia como el silicio que, al no requerir ser



### **Los semiconductores transparentes apuestan a imponer nuevas ideas para la generación de energía limpia y sostenible**

materiales de alta pureza, su obtención no utiliza métodos sofisticados que resultan ser costosos.

- No son tóxicos, pues a lo que la mayoría podría pensar, son materiales que se encuentran en productos que se usan en la vida diaria como productos de cuidado personal, farmacia, pigmentos, maquillaje, entre otros.
- Son abundantes como materia prima en la naturaleza lo que posibilita satisfacer la demanda de uso.

Todos estos rubros apuntan a ser considerados semiconductores de gran visión en un proyecto sustentable y sostenible del desarrollo de dispositivos de alta funcionalidad (Wen, *et al.*, 2024; Kumar & Seo, 2024).

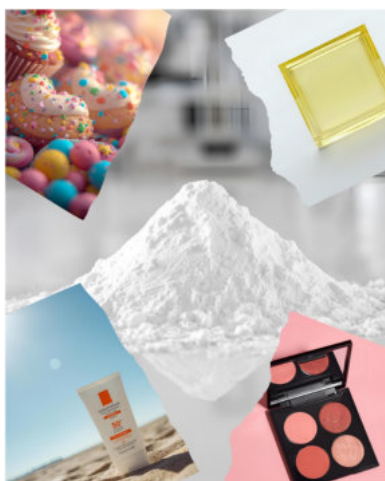
### **¿Qué son los óxidos conductores transparentes?**

Los TCO son semiconductores binarios compuestos de un metal, como el zinc o estaño, y el oxígeno. Son reconocidos por sus principales características como conductividad, debido a la cantidad de vacancias<sup>2</sup> de oxígeno en su estructura, y transparencia, proporcionada por su amplia banda prohibida superior a la de semiconductores promedio





Contaminación ambiental por dispositivos electrónicos



Dióxido de titanio y sus aplicaciones en comida, cosméticos y farmacéutica



Futuras aplicaciones de celdas solares con óxidos conductores transparentes

pues no absorben gran cantidad de luz visible, lo que los hace semiconductores de nueva generación que poseen propiedades optoelectrónicas excepcionales. No obstante, otro tipo de situaciones en el material juegan un rol crucial pues permite mejorar o perjudicar sus propiedades, como los defectos en el material, impurezas o la modificación de estos óxidos metálicos (Stadler, 2010).

Los semiconductores TCO más utilizados son óxido de zinc  $\text{ZnO}$ , dióxido de titanio  $\text{TiO}_2$ , óxido de indio dopado con estaño ITO, óxido de zinc dopado con aluminio AZO, óxido de estaño dopado con flúor FTO, entre otros. Aunque pareciera que son sustancias desconocidas para nosotros, son parte de nuestra vida cotidiana, como es el caso del dióxido de titanio presente en alimentos como conservador para mantenerlos frescos, con sabor y textura como por ejemplo en dulces o sustituto para café; cosméticos como colorante en sombras para los ojos o rubor; protectores solares bloquea el paso de los rayos ultravioleta, rayos dañinos para el ser humano pues la exposición a largo plazo a estos sin protección adecuada podría generar manchas o cáncer en la piel (Berardinelli & Parisi, 2021; Ropers, *et al.*, 2017; Pei, *et al.*, 2015).

### Una gran innovación en las energías limpias

Estos semiconductores enfocados en la generación de energía limpia prometen grandes eficiencias en celdas solares de capa delgada debido a su transparencia, conductividad y gran cantidad de portadores de corriente, electrones o huecos<sup>3</sup>, que conducen la carga

### Los TCO son semiconductores binarios compuestos de un metal, como el zinc o estaño u oxígeno.

generada en la unión de materiales y de la incidencia de luz visible. Dichas características los hacen idóneos para ser usados en la introducción de nuevos diseños de inmuebles y esto es porque no serán instalados en los techos de edificios o casas como hasta ahora se hace, sino que, podrían ser ubicados en ventanas, así que tendrán doble función, ser panel solar y ventana, formando parte de la arquitectura de edificaciones (All-Ezzi & Ansari, 2022).

### Los retos de los nuevos paneles solares

Fabricar y diseñar celdas solares siempre tiene sus retos y limitaciones, si bien es cierto que tienen muchas propiedades que dan ventaja a las funcionalidades de las celdas solares, las limitaciones y dificultades para su construcción están presentes en cada tipo de material a usar y la forma en cómo se construye cada dispositivo. En principio, los costos entre estos materiales prometen ser bajos, sin embargo, pueden aumentar debido a diversos factores como el método de fabricación para garantizar obtener materiales eficientes, contaminación no deseada debido al método de elaboración, los estudios que verifican que tengan lo necesario para ser buenos materiales semiconductores, entre otras situaciones más.

### ¿Por qué apostarles a las nuevas tecnologías en la generación de energías limpias?

Cuando se trata de generar electricidad para diversas actividades económicas, también va implícito el daño al medio ambiente. Dependiendo de diversos factores como la tasa de población o las actividades económicas que existen en cada región como la agricultura, industria, comercio, residencial, transporte, entre otros, tenderán a incrementar la emisión de gases tóxicos, como el dióxido de carbono. La generación de electricidad provoca una emisión de gases dañinos del 20.41% en comparación con otras actividades que también generan daño al medio ambiente (SIELAC, 2010).

El uso del petróleo como principal fuente de energía tiene como limitante ser un recurso no renovable, además de la dificultad de extraerlo y el tiempo que tarda en generarse son procesos lentos. No obstante, el sol es la fuente de energía ideal: es inagotable, sostenible y accesible para la mayor parte del mundo. En este contexto, es necesario desarrollar celdas solares de alta eficiencia de conversión para aprovechar la energía solar, esto permitirá desarrollar una tecnología amigable con nuestro planeta y proyectar innovadores avances para nuestro futuro.

#### REFERENCIAS

- <sup>1</sup> Un dispositivo que transforma la luz del sol en electricidad, es decir, capturara rayos solares y los convierte en energía lista para usar.
- <sup>2</sup> Las vacancias son lugares vacíos donde debería haber átomos en un material. La vacancia de oxígeno ocurre cuando falta un átomo de oxígeno en su lugar habitual.
- <sup>3</sup> En algunos semiconductores, los huecos son espacios donde falta un electrón, y esa ausencia permite que fluya la corriente.
- Al-Ezzi, A.S. & Ansari, M.N.M. (2022) Photovoltaic Solar Cells: A Review. Appl. Syst. Innov. 2022, 5, 67. <https://doi.org/10.3390/asi5040067>
- Berardinelli A, Parisi F, (2021) TiO2 in the food industry and cosmetics, Elsevier, Pages 353-371. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819960-2.00008-0>.
- Kumar, S., & Seo, Y. (2024). Flexible Transparent Conductive Electrodes: Unveiling Growth Mechanisms, Material Dimensions, Fabrication Methods, and Design Strategies. In Small Methods (Vol. 8, Issue 1). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/smt.202300908>
- Pei-Jia Lu, Shou-Chieh Huang, Yu-Pen Chen, Lih-Ching Chieh, Daniel Yang-Chih Shih, (2015) Analysis of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in cosmetics, Journal of Food and Drug Analysis (Vol. 23, Issue 3). <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.02.009>.
- Ropers, M.-H., Terrisse, H., Mercier-Bonin, M., & Humbert, B. (2017). Titanium Dioxide as Food Additive. InTech. doi: 10.5772/intechopen.68883
- Sistema de Información energética de Latinoamérica y el Caribe SIELAC-OLADE, 2010, Emisiones de CO2. <https://sielac.olade.org/WebForms/BalanceEnergetico/Reportes.aspx?or=546&ss=2&v=3>
- Infograma Emisiones Metodo Tecnologias.
- Stadler, A. (2012). Transparent Conducting Oxides—An Up-To-Date Overview. Materials, 5(4), 661–683. <https://doi.org/10.3390/ma5040661>
- Wen, H., Weng, B., Wang, B., Xiao, W., Liu, X., Wang, Y., Zhang, M. y Huang, H. (2024). Avances en óxidos conductores transparentes para aplicaciones fotoelectroquímicas. Nanomaterials, 14 (7), 591. <https://doi.org/10.3390/nano14070591>



Medio ambiente sano





> SALVADOR  
**GONZÁLEZ  
PALOMARES**



> RIGOBERTO  
**GONZÁLEZ  
RODRÍGUEZ**



> RAÚL  
**CASTILLÓN  
BENAVIDES**



# Semiconductores para una agricultura de precisión

**POR:** SALVADOR GONZÁLEZ PALOMARES, RIGOBERTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, RAÚL CASTILLÓN BENAVIDES

SEMICONDUCTORES, SENSORES AGRÍCOLAS, MICROCHIPS.

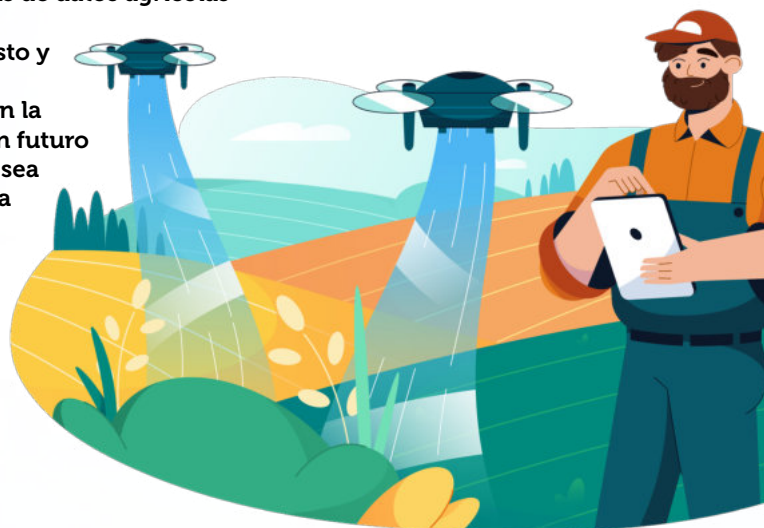
Los semiconductores son el motor de la agricultura de precisión, una revolución tecnológica que está transformando la producción de alimentos. Son la base de los sensores inteligentes, los microchips y los drones que monitorean cada aspecto del campo, desde la humedad del suelo y la nutrición de las plantas hasta la detección temprana de plagas y enfermedades. Su aplicación permite a los agricultores optimizar el uso de recursos como el agua y los fertilizantes, lo que se traduce en mayor eficiencia, menores costos y una producción más sostenible. Avances como los chips de bajo consumo y la Inteligencia Artificial (IA) están llevando esta tecnología a un nuevo nivel, permitiendo el análisis de datos agrícolas en tiempo real.

A pesar de desafíos como el alto costo y la brecha digital en zonas rurales, la integración de los semiconductores en la agricultura es clave para garantizar un futuro en el que la producción de alimentos sea más productiva, eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

El objetivo es exponer la importancia de la integración de semiconductores en la agricultura de precisión contribuyendo a la eficiencia en el uso de recursos, la sostenibilidad y la toma de decisiones informada para los productores agrícolas.



**Pica aquí**  
Lee el artículo  
en línea





### Introducción

En un mundo que enfrenta retos sin precedentes como el cambio climático, la escasez de agua y la necesidad de alimentar a una población en constante crecimiento, la agricultura se encuentra en una etapa de transformación. Es en este contexto, la agricultura de precisión emerge como una solución vital, y su motor tecnológico son los semiconductores. Estos componentes, más allá de ser el eje central de nuestros dispositivos electrónicos, son la base de los sistemas que permiten a los agricultores pasar de la intuición a la toma de decisiones basada en datos. Los semiconductores son los cerebros detrás de una red de sensores inteligentes que miden en tiempo real la humedad del suelo, el nivel de nutrientes y la temperatura. También son la tecnología que hace funcionar a los drones que escanean los campos para detectar plagas o estrés en los cultivos, y a los sistemas de riego automatizado que dosifican el agua con una precisión milimétrica (Berrio *et al.*, 2015), (foto 1).

Gracias a esta integración tecnológica, los agricultores pueden optimizar drásticamente el uso de recursos, reducir la huella de carbono y maximizar la productividad de sus cosechas. En esencia, los semiconductores no solo están volviendo a la agricultura



Foto 1. Riego automatizado en la agricultura.

más eficiente y rentable, sino que también la están convirtiendo en una actividad más sostenible y preparada para los desafíos del futuro (Culturas, 2017). En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo exponer la importancia de la integración de semiconductores en la agricultura de precisión contribuyendo a la eficiencia en el uso de recursos, la sostenibilidad y la toma de decisiones informada para los productores agrícolas.



## Aspectos importantes de los semiconductores en la agricultura de precisión

Los aspectos más relevantes de los semiconductores para una agricultura de precisión se pueden resumir en tres puntos clave: la tecnología que los hace posibles, los beneficios que ofrecen y los desafíos que aún deben superarse (Marote, 2010; Culturas, 2017; Qampo, 2020).

**1.- La tecnología habilitadora:** Los semiconductores son los componentes fundamentales que dan vida a la agricultura de precisión. Son el cerebro detrás de los sensores inteligentes que se colocan en el campo para medir la humedad, la temperatura y los nutrientes del suelo. También son el motor de los drones que analizan las condiciones de los cultivos desde el aire y de los sistemas de riego automatizado que dosifican el agua con exactitud. Sin los semiconductores, toda esta red de dispositivos conectados (IoT) no podría funcionar (Berrío *et al.*, 2015).

**2.- Beneficios y sostenibilidad:** La integración de semiconductores en la agricultura genera beneficios significativos:

**2.1.- Optimización de recursos:** Permiten a los agricultores usar solo la cantidad necesaria de agua y fertilizantes, reduciendo el desperdicio y los costos.

**2.2.- Mayor productividad:** Al monitorear los cultivos en tiempo real, se pueden detectar problemas de plagas o enfermedades de manera temprana, lo que aumenta el rendimiento y la calidad de las cosechas.

**2.3.- Sostenibilidad ambiental:** Al reducir el uso de químicos y agua, esta tecnología disminuye la huella ecológica de la agricultura, haciéndola más respetuosa con el medio ambiente.

**3.- Principales desafíos:** A pesar de sus ventajas, la adopción de esta tecnología enfrenta algunos obstáculos:

**3.1.- Costo:** La inversión inicial en equipos de agricultura de precisión puede ser muy alta para los pequeños y medianos agricultores.



**3.2.- Infraestructura:** Muchas zonas rurales carecen de la conectividad a internet necesaria para que los sistemas de monitoreo y automatización funcionen de manera óptima.

**3.3.- Capacitación:** Se requiere que los agricultores desarrollen nuevas habilidades y conocimientos técnicos para operar y aprovechar al máximo estas herramientas (Qampo, 2020).

## Principales usos de los semiconductores en la agricultura de precisión

En la agricultura moderna, los semiconductores son la tecnología fundamental que ha hecho posible una revolución en la forma en que se cultivan los alimentos. Sus principales usos se centran en el monitoreo, la automatización y la optimización de cada etapa del proceso agrícola (Culturas, 2017; Qampo, 2020).

**La pluralidad y  
pulcritud informativa en  
redes tiene un nombre:**

**#ParabolicaTV**

 @ParabolicaEnRed

 Parabólica En Red

 @ParabolicaMX

 Parabólica En Red

 22 15 33 90 52

**parabólica.MX**

periodismo en red

**Al alcance de un click** 

**www.parabolica.mx**







Foto 2. Monitoreo inteligente en la agricultura: la clave para optimizar cosechas.

### 1.- Monitoreo y sensores inteligentes:

Los semiconductores son el eje principal de una red de sensores que recogen datos cruciales del campo. Estos dispositivos, equipados con microchips, miden variables como la humedad del suelo, la temperatura, la iluminación solar y los niveles de nutrientes. Esta información se transmite a través de redes IoT (Internet de las Cosas), para que los agricultores puedan tomar decisiones informadas en tiempo real. Esto permite, por ejemplo, identificar zonas del cultivo que necesitan más agua o fertilizante de forma precisa, evitando el desperdicio (foto 2).

### 2.- Automatización y robótica agrícola:

Los robots y la maquinaria agrícola autónoma funcionan gracias a los semiconductores. Estos componentes actúan como el "cerebro" de los sistemas, permitiendo que:

- Tractores autónomos realicen labores de siembra y labranza sin intervención humana.
- Drones agrícolas, equipados con cámaras y sensores, analicen la salud de los cultivos desde el aire y apliquen pesticidas o fertilizantes de manera selectiva (Berrío *et al.*, 2015).

- Robots de cosecha identifiquen y recojan los productos maduros con precisión, reduciendo los tiempos de trabajo y mejorando la eficiencia.

### 3.- Sistemas de riego y fertilización de precisión:

Con el uso de microcontroladores y sensores, se han creado sistemas que gestionan el riego de forma inteligente. Los semiconductores regulan las válvulas y bombas para suministrar la cantidad exacta de agua que cada zona del cultivo necesita, con base en los datos de los sensores de humedad. De igual manera, se aplican fertilizantes y nutrientes de manera dosificada, lo que reduce los costos y minimiza el impacto ambiental.

### 4.- Logística y cadena de suministro:

Incluso después de la cosecha, los semiconductores juegan un papel crucial. Los chips RFID y los sensores de temperatura integrados en el embalaje permiten monitorear la calidad de los productos durante su transporte. Esto asegura la trazabilidad desde la granja hasta el consumidor y ayuda a garantizar que los alimentos lleguen frescos y en óptimas condiciones (Qampo, 2020).

## Conclusiones

Los semiconductores han trascendido su papel en la electrónica de consumo para convertirse en la fuerza motriz de la agricultura de precisión. Estos componentes son la base de los sensores, drones y sistemas automatizados que permiten a los agricultores pasar de prácticas tradicionales a una gestión inteligente y basada en datos (Berrio *et al.*, 2015; Sersolcampo, 2020). Esta integración tecnológica no solo mejora la eficiencia y la productividad de las cosechas, sino que también es un pilar fundamental para la sostenibilidad. Al optimizar el uso de recursos como el agua y los fertilizantes, los semiconductores contribuyen a una producción de alimentos más responsable con el medio ambiente. Aunque existen desafíos significativos como el costo y la brecha digital en las zonas rurales, su continua evolución promete una agricultura más resiliente, rentable y capaz de enfrentar los retos de la seguridad alimentaria global (Culturas, 2017; Sersolcampo, 2020), (foto 3).

## REFERENCIAS

- Berrio, M., Viviana, A., Mosquera, T., Alzate, V. (2015). Uso de drones para el análisis de imágenes multispectrales en agricultura de precisión. *Limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 13(1):28-40.
- <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/alimen/article/view/1600>
- Culturas, (2017). ¿Sabe qué es la Agricultura de Precisión? Descúbralo aquí., [en línea], 2017, Disponible en: <https://hablemosdeculturas.com/agricultura-de-precision/>
- Marote, M. (2010). Agricultura de precisión. *Inst. Ciencia y Tecnología, La Habana, Cuba*. P. 143-166. <https://dspace.palermo.edu/ojs/index.php/cyt/article/view/765>
- Qampo. (2020). Herramientas para la agricultura de precisión. Quampos Coult.
- Sersolcampo. (2020). Ventajas y desventajas de la agricultura de precisión. Sersolcampo. <https://www.sersolcampo.com>

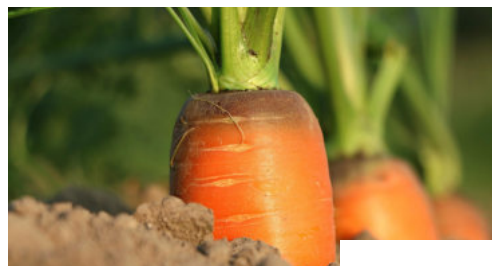


Foto 3. La tecnología mejora la eficiencia y productividad de las cosechas.

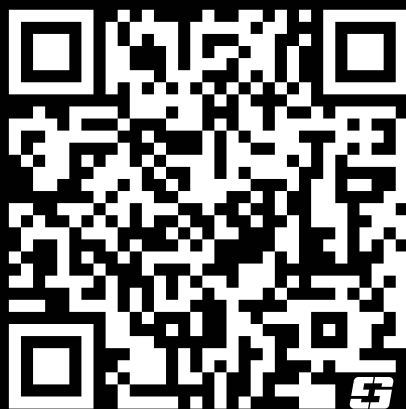






# ***ESIMAGEN***

*AGENCIA MULTIMEDIA*



*¡Escanéame!*

[www.esimagen.mx](http://www.esimagen.mx)



Es Imagen



@EsImagen



@es\_imagen



@EsImagen

Reportamos para Puebla,  
México y la comunidad  
migrante en Estados Unidos



Síguenos en nuestras redes



<https://exilio.mx>



# Renace el CAMPO POBLANO

Apoyo al agro y  
agricultores con  
insumos estratégicos



# LA TRANSFORMACIÓN es hoy



Gobierno de  
**México**



**PUEBLA**  
Gobierno del Estado  
2024-2030

**Gobernación**  
Secretaría de Gobernación

**Seguridad**  
Secretaría de Seguridad Pública

**Cultura**  
Secretaría de Arte y Cultura

**Desarrollo  
Turístico**  
Secretaría de Desarrollo Turístico

**Desarrollo  
Económico y Trabajo**  
Secretaría de Desarrollo Económico y Trabajo

**Agricultura y  
Desarrollo Rural**  
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

**Educación**  
Secretaría de Educación Pública

**Salud**  
Secretaría de Salud

**Desarrollo  
Sustentable**  
Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo  
Sustentable y Ordenamiento Territorial

**Infraestructura**  
Secretaría de Infraestructura

**Pensar  
Grande**  
en

**POR AMOR A  
PUEBLA**