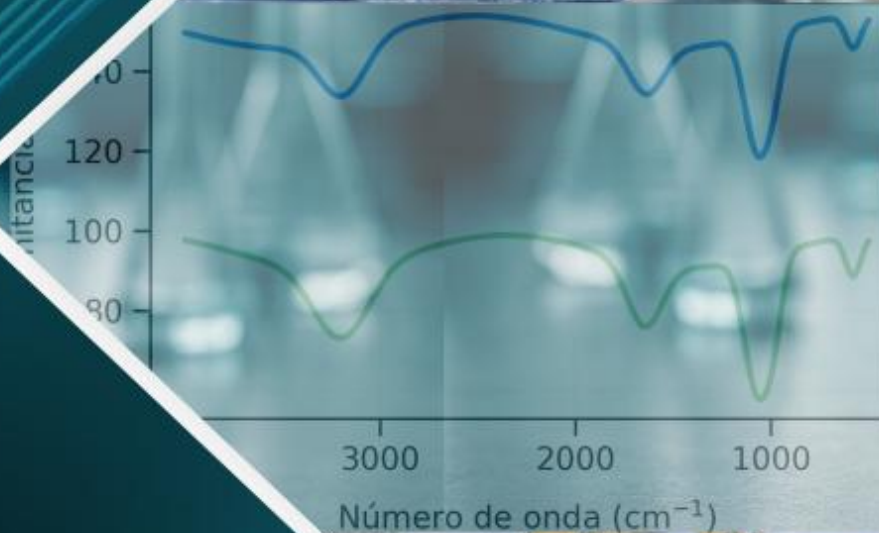


JEEOS

JOURNAL OF ENERGY, ENGINEERING
OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY

2026



Vol. 10 Núm. 1 (2026)

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo

No. 01-2016-050908471400-203. ISSN: 2448-8186





DIRECTORIO

L.D. GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO
Rector

DR. WILFRIDO MIGUEL CONTRERAS SÁNCHEZ
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

DR. LUIS MANUEL HERNÁNDEZ GOVEA
Secretario de Servicios Académicos

LIC. ALEJANDRINO BASTAR CORDERO
Encargado del Despacho de la Secretaría de
Servicios Administrativos

Esta revista está citada en:

Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal LATINDEX.<http://www.latinindex.unam.mx/> JOURNAL OF ENERGY, ENGINEERING OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY, Vol 10, No. 1, Año 2026, es una publicación continua editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa, Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040, <https://revistajeeos.ujat.mx/JEEOS/es/>, Email: jeeos@ujat.mx. Indizada en LATINDEX. Editora responsable: Laura Lorena Díaz Flores. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2016-050908471400-203, ISSN: 2448-8186, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Pauly González Mayo, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 30 de abril 2026.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution- NonCommercialShareAlike 4.0 International License.

Dra. Laura Lorena Díaz Flores
EDITORA EN JEFE

MSI. Alva del Rocío Pulido Téllez
GESTORA

M.A. Pauly González Mayo Dra. Antonia del Rocío López Guemez
ASISTENTE EDITORIAL Y MAQUETADO

MIS Dalia Exaltación Medina Mandujano MAEE. Mary Cruz Valenzuela Jiménez
ASISTENTE DE DISEÑO Y ESTILO

MC Sulma Guadalupe Gómez Jiménez MC Sirleni Ordóñez Frías
ASISTENTE DE TRADUCCION

EDITORES ASOCIADOS POR ÁREA

Dra. Angélica del Carmen Lizardo Pérez

M en C en Arq. Margarita del Carmen Noguera Miceli

Dra. Haydee Pérez Castro

Dr. Luis Manuel López Manrique

Dra. Karla María Aguilar Castro

Dr. Edgar Vicente Macias Melo

Dr. José de los Santos López Lázaro

Dra. Lizeth Rojas Blanco

Dr. Erik Ramírez Morales

M. C. Cristina Ponce Parra

Dr. Reymundo Ramírez Betancour

Dr. Emmanuel Munguía Balvanera

Dr. René Sebastián Mora Ortiz

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Bassam Ali, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán

Dr. Fabricio Nápoles Rivera, **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

Dr. Francisco López Villareal, **Instituto Tecnológico de Villahermosa.**

Dr. Fernando Israel Gómez Castro, **Universidad de Guanajuato**

Dr. Juan Serrano Arellano, **Instituto Tecnológico de Pachuca**

Dra. Isabel María Valdivia Fernández, **Universidad de la Habana- Facultad de Geografía**

Dra. Ivett Zavala Guillén, **Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California**

Dr. Luis Alfonso García Cerda, **Centro de Investigación de Química Aplicada**

Dra. Nancy del Pilar Medina Herrera, **Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dra. Ma. Guadalupe Garnica Romo, **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.**

Dra. María Guadalupe Alpuche Cruz, **Universidad de Sonora**

Dr. Pedro Cruz Alcantar, **Universidad Autónoma de San Luis Potosí**

Dr. Salvador Tututi Ávila, **Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dra. Santa del Carmen Herrera Sánchez, **Universidad Autónoma del Carmen**

Índice Vol. 10 Núm. 1 (2026)

- Mezcla asfáltica a base de residuos de construcción y demolición para caminos rurales de Tabasco** **1-22**
Solis-Cortazar D.¹, González-García E.², Solis-Cortazar JC.¹, Pérez-Castro H.^{1*}
- Estrategia educativa: prototipo de microgasificador para el aprovechamiento de residuos sólidos y biomasa** **23-30**
Venegas-Sánchez J.A.¹, Muñoz-Barron B.², Jiménez-Hernández G.¹
- Avances en el desarrollo en recubrimientos autorreparable** **31-46**
Domínguez-De Los Santos F.J.¹, Gómez-Álvarez F.J.¹, Rojas-Blanco L.¹, Escalante-Pérez M.E.¹,
Ramírez-Morales E.^{1*}
- Sustratos de oro en el desarrollo de biosensores para la seguridad alimentaria: avances y perspectivas** **47-62**
Sánchez-Rangel D.C.¹, De León-Santillán A.², Barrera-Martínez C.L.³, Arredondo-Valdés R.¹,
Laredo-Alcalá E.I.^{1*}
- Valorización de residuos: $\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ obtenido de alambre de neumáticos fuera de uso para el tratamiento fenton de agua con diclofenaco** **63-74**
González-Ybarra J.¹, Martínez-Sánchez C.², Alanís-Navarro J.A.³, Alarcón-Hernández F.B.⁴, Albarrán-Fuentes M.C.⁴, Morales-Hernández J.⁵, Sandoval-González A.^{2*}

Sustratos de oro en el desarrollo de biosensores para la seguridad alimentaria: avances y perspectivas

Gold-based biosensors for food safety: advances and perspectives

Sánchez-Rangel D.C.¹ De León-Santillán A.², Barrera-Martínez C.L.³, Arredondo-Valdés R.¹,
Laredo-Alcalá E.I.^{1*}

¹Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. V. Carranza s/n, Col. República Oriente, Saltillo, Coahuila, México C.P. 25280

Departamento de Materiales Avanzados, Centro de Investigación en Química Aplicada, Blvd. Enrique Reyna Hermosillo 140, San José de los Cerritos, Saltillo, Coahuila, México C.P 25113

Centro de Investigación para la Conservación de la Biodiversidad y Ecología de Coahuila, Universidad Autónoma de Coahuila, Miguel Hidalgo 212, Cuatro Ciénegas de Carranza, Coahuila, México C.P 27640

*elan_laredo@uadec.edu.mx

Artículo de Revisión

Publicado: 30 de abril 2026

RESUMEN

La seguridad alimentaria es una preocupación global; cada año aproximadamente 600 millones de personas se enferman debido a alimentos contaminados, causando cerca de 500 000 muertes. Las técnicas analíticas tradicionales de detección presentan limitaciones de tiempo, costo y precisión, lo que impulsa la búsqueda de tecnologías más eficaces para monitorear contaminantes y patógenos en los alimentos. En este escenario, los biosensores basados en oro han surgido como un enfoque eficaz, debido a las propiedades únicas del oro, incluyendo su biocompatibilidad, conductividad y capacidad para inmovilizar biomoléculas, permiten mejorar la sensibilidad, estabilidad y eficiencia de los sistemas de detección. Este artículo revisa los avances recientes en el desarrollo de biosensores de oro aplicados a la seguridad alimentaria, destacando su potencial para la detección rápida y precisa de contaminantes y su contribución a estándares más altos de inocuidad alimentaria.

Palabras clave: Biosensores, Sustratos de oro, nanopartículas, Seguridad Alimentaria, Detección de Contaminantes.

ABSTRACT

Food safety is a critical global concern; each year, approximately 600 million people fall ill due to contaminated food, resulting in nearly 500 000 deaths. Traditional detection methods face limitations in terms of time, cost, and accuracy, which drives the search for more effective technologies to monitor contaminants and pathogens in food. In this context, gold-based biosensors have emerged as a promising strategy. The unique properties of gold, including its biocompatibility, conductivity, and ability to immobilize biomolecules, enhance the sensitivity, stability, and efficiency of detection systems. This article reviews recent advances in the

development of gold biosensors applied to food safety, highlighting their potential for rapid and accurate hazard detection and their contribution to higher standards of food safety.

Keywords: Biosensors, Gold Substrates, Nanoparticles, Food Safety, Contaminant Detection.

INTRODUCCION

Cada año, los contaminantes alimentarios causan cerca de 600 millones de enfermedades y medio millón de muertes en todo el mundo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). A medida que las enfermedades transmitidas por los alimentos continúan en aumento, los métodos de detección se encuentran en constante actualización y un ejemplo de esto son los biosensores, que ofrecen formas más rápidas y precisas de identificar contaminantes y proteger la salud pública. [1,2]

Los contaminantes alimentarios pueden clasificarse en grupos de acuerdo con su origen: contaminantes químicos, biológicos y materiales físicos. Cada categoría plantea desafíos específicos en la detección y en la gestión de la seguridad, lo que complica los esfuerzos por garantizar la inocuidad alimentaria [3].

Un reto crítico en la seguridad alimentaria es la detección oportuna de estos contaminantes, responsables de miles de muertes anuales [4,5]. En respuesta a esta problemática, organizaciones internacionales como la OMS colaboran con gobiernos y entidades globales a través de iniciativas como el Codex Alimentarius, promueven el uso de normas y directrices orientadas a las buenas prácticas agrícolas y pecuarias para minimizar la introducción de contaminantes en la cadena alimentaria. [6,7]

Otro reto que presenta la seguridad alimentaria son los métodos tradicionales de detección, ya que estos presentan limitaciones en tiempo de análisis, costo y precisión. Como consecuencia ha aumentado el interés en tecnologías más eficientes, como los biosensores. Estos dispositivos convierten una señal biológica generada a través de la interacción específica entre un analito y un biorreceptor en una señal detectable [8,9,10]

Esta revisión aborda el uso de biosensores basados en oro como una alternativa prometedora para la detección rápida de contaminantes alimentarios, incluidos plaguicidas, metales pesados, microorganismos y toxinas. Estos sustratos destacan por sus propiedades ópticas, de conductividad, biocompatibilidad y facilidad de funcionalización lo que los hace atractivos para aplicaciones en biosensores para la industria alimentaria. La revisión concluye con los avances recientes en el desarrollo de biosensores de oro aplicados a la seguridad alimentaria, destacando su potencial y su contribución a la inocuidad alimentaria.

CONTAMINANTES ALIMENTARIOS

Concepto y clasificación. Los contaminantes alimentarios son todas aquellas sustancias, organismos u objetos no deseados que pueden comprometer la salud humana; su ingestión está asociada con diversas enfermedades. La contaminación puede ocurrir en cualquier etapa de la cadena de producción de alimentos, ya sea durante el cultivo, el procesamiento, la distribución o el almacenamiento [11].

Estos se clasifican en tres categorías (**Figura 1**): la primera incluye los químicos, como plaguicidas, metales pesados, residuos de medicamentos veterinarios y aditivos no permitidos, que pueden infiltrarse en los alimentos a lo largo de las diferentes etapas de procesamiento y almacenamiento. La segunda categoría corresponde a los agentes biológicos, entre los que se encuentran los microorganismos patógenos, virus, parásitos y toxinas microbianas. Finalmente, se encuentran los materiales físicos, que incluyen objetos extraños que contaminan accidentalmente los alimentos, como fragmentos de vidrio, plástico o metal. Aunque menos comunes, estos contaminantes representan riesgos tanto para la salud como físicos para los consumidores [12,13,14,15].

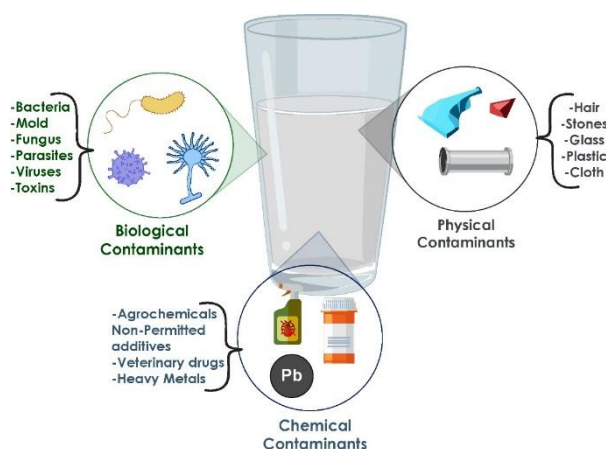


Figura 1 Clasificación de contaminantes alimentarios

Pesticidas. Los pesticidas son sustancias naturales o sintéticas que controlan, regulan, previenen, repelen y eliminan plagas, insectos y malezas que pueden causar enfermedades en los cultivos o reducir el rendimiento. Si bien su uso ha incrementado la producción agrícola y mejorado la calidad de los alimentos, su uso indiscriminado aumenta las preocupaciones sobre la seguridad alimentaria [16]. En la actualidad, existe una dependencia hacia los pesticidas, lo que ha generado la aparición de plagas resistentes y, a su vez, ha provocado un ciclo de uso intensivo de productos químicos más potentes. Esta resistencia compromete la eficacia de los pesticidas y aumenta los residuos químicos en los alimentos [17]

Una de las principales inquietudes sobre los pesticidas es su impacto en la salud humana. Estas sustancias pueden ingresar al cuerpo a través de la ingestión de alimentos contaminados, el contacto directo durante la aplicación o la inhalación de vapores. Las investigaciones demuestran que ciertos

pesticidas están relacionados con diversos problemas de salud, como trastornos neurológicos, problemas reproductivos y un mayor riesgo de desarrollar cáncer.[18]

Metales Pesados. Los metales pesados (MH) son componentes naturales de la corteza terrestre. Se caracterizan por que no se degradan lo que los hace tener una gran persistencia ambiental, además de potencial de bioacumulación, y tienen una densidad superior a 4 g/cm^3 , una densidad nuclear de 41 g/cm^3 y un peso atómico superior a 20. Estos metales ingresan al organismo a través de la ingesta de alimentos, el aire y el agua.

Entre los metales pesados más relevantes se encuentran el cadmio (Cd), el arsénico (As), el zinc (Zn), el mercurio (Hg), la plata (Ag), el cromo (Cr), el cobre (Cu), el hierro (Fe) y el platino (Pt). Algunos de estos metales son micronutrientes esenciales que pueden tener efectos beneficiosos; sin embargo, en altas concentraciones, son tóxicos para plantas, animales y seres humanos [19, 20, 21].

Los metales pesados pueden entrar al cuerpo humano por inhalación, ingestión y contacto con la piel. Si bien algunos de estos metales son fundamentales para la homeostasis celular, la exposición prolongada puede provocar enfermedades como: intoxicación, trastornos cognitivos, problemas cardíacos, respiratorios y circulatorios, e incluso cáncer, siendo la vía oral la de mayor riesgo [22, 23].

Organismos y Toxinas. Algunos organismos como bacterias, hongos, algas o plantas producen metabolitos que pueden ser tóxicos, y se les conoce como biotoxinas. Estas tienen características diversas ya que pueden poseer múltiples estructuras químicas, funciones biológicas, mecanismos de acción y grados de toxicidad. Su exposición puede provocar efectos perjudiciales en la salud humana, que van desde reacciones alérgicas o trastornos gastrointestinales hasta casos severos de intoxicación que pueden resultar mortales [24, 25].

Las micotoxinas son producidas hongos entre los que destacan los géneros de *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. Entre las más preocupantes se encuentran las aflatoxinas, el deoxinivalenol, las fumonisinas, la ocratoxina A y la citrinina. Debido principalmente a su frecuencia y alta concentración en los alimentos, se asocian con cáncer, daño renal, alteraciones en la función de la barrera intestinal, modulación del sistema inmunitario y problemas en el desarrollo fetal [26][27][28].

Algunas bacterias patógenas causan infecciones directamente, pero producen toxinas que pueden ser aún más peligrosas. Por ejemplo, la toxina botulínica de *Clostridium botulinum* puede ser letal si se ingiere; la toxina estafilocócica de *Staphylococcus aureus* causa una rápida intoxicación alimentaria con síntomas como náuseas y diarrea. La proliferación de estas bacterias se produce debido a condiciones inadecuadas de temperatura, humedad y malas prácticas de manipulación de alimentos, como la contaminación cruzada o la falta de higiene [29, 30, 31].

DETECCIÓN DE CONTAMINANTES ALIMENTARIOS

En el campo de la seguridad alimentaria, se emplean varias técnicas para identificar contaminantes en los alimentos (**Tabla 1**). Se utilizan, sobre todo, las técnicas analíticas tradicionales para la detección de contaminantes químicos, como los metales pesados y los pesticidas: la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), la cromatografía de gases (GC) y la espectrometría de masas (MS). Por otro lado, los procedimientos microbiológicos que se basan en el cultivo de microorganismos en medios selectivos posibilitan su identificación a partir de su desarrollo específico cuando están presentes ciertos compuestos. Además, se utilizan extensamente los inmunoensayos, como los kits ELISA, debido a su gran exactitud y especificidad al detectar toxinas y bacterias [32].

Los avances tecnológicos han dado lugar a métodos innovadores como los biosensores, que han cobrado relevancia gracias a su precisión y especificidad en pruebas rápidas, permitiendo análisis en tiempo real y sin contacto, mejorando así el control de calidad.

Tabla 1. Lista de Materiales Conductores

Métodos de Detección	Ventajas y Desventajas
Espectroscopía	Ofrece alta sensibilidad y respuesta rápida, aunque requieren equipos costosos y personal especializado [33] [34].
Cromatografía	Brinda alta resolución y precisión, pero demandan mayor tiempo y una preparación compleja de las muestras [35][36].
Inmunoensayo	Garantizan alta especificidad y sensibilidad, sin embargo, su aplicación implica el uso de equipos costosos y personal capacitado [37][38].
Medios de cultivo	Permiten identificar patógenos de manera específica, confiable y a bajo costo, aunque presentan largos tiempos de respuesta, condiciones de operación estrictas, riesgo de contaminación y necesidad de habilidades técnicas avanzadas [39][40].
Biosensors	Proporcionan alta especificidad, sensibilidad, detección en tiempo real y portabilidad, pero con la limitación de una vida útil reducida de los componentes biológicos [41][42].

BIOSENSORES COMO HERRAMIENTAS DE DETECCIÓN

Los biosensores son dispositivos avanzados que permiten identificar, detectar y/o cuantificar compuestos en diferentes muestras. Estas herramientas poseen estructuras compuestas por un elemento biológico y un transductor que convierte la interacción biológica en una señal medible, lo que permite identificar de manera específica y sensible sustancias de interés en los ámbitos médico, alimentario y ambiental (**Figura 2**).

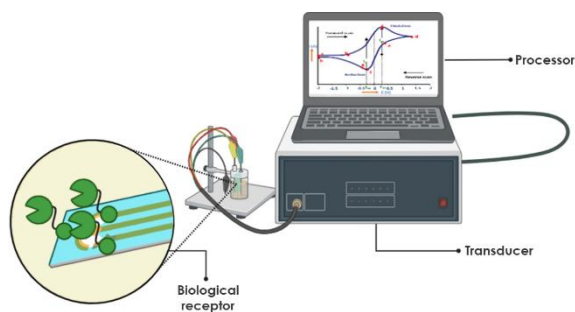


Figura 2. Clasificación de contaminantes alimentarios (Huo, B. et al., 2021).

La precisión y rapidez de los biosensores facilitan la identificación temprana de patógenos, toxinas y otros contaminantes, mejorando la capacidad de respuesta en situaciones críticas [43, 44]. En comparación con otras técnicas de detección, los biosensores ofrecen alta sensibilidad, precisión, velocidad y capacidades de miniaturización, lo que permite su implementación en dispositivos portátiles y accesibles para el monitoreo en tiempo real. Combinadas con lecturas simples, estas características los hacen cada vez más intuitivos, reduciendo la necesidad de procedimientos complejos o de un operador especializado. Los biosensores se utilizan en diversas aplicaciones, como el diagnóstico médico, la vigilancia ambiental y el control de calidad en la industria alimentaria [45].

Clasificación de los biosensores. Los biosensores pueden clasificarse de acuerdo con diferentes criterios. Dependiendo del tipo de elemento biológico (**Tabla 2**), se dividen en enzimáticos, inmunológicos, celulares y de ácidos nucleicos. Los tipos de transductores (**Tabla 3**) pueden ser electroquímicos, ópticos y piezoeléctricos. Finalmente, según su modo de operación, existe una diferencia entre los biosensores continuos, que ofrecen mediciones en tiempo real, y los biosensores discretos, que realizan mediciones en intervalos específicos [46, 47].

Tabla 2. Lista de Materiales Conductores

Bioreceptor	Descripción
Anticuerpos	Son proteínas que se unen específicamente a antígenos [48].
Enzimas	Catalizadores biológicos que pueden detectar cambios en el sustrato o inhibir reacciones [49].
Ácidos Nucleicos	Uso de secuencias de ADN o ARN que hibridan con su complemento [50].
Células y organelos	Uso de componentes celulares que responden a estímulos externos y generan señales [51].

Tabla 3. Lista de Materiales Conductores

Transductor	Descripción
Electroquímico	Se basa en la transformación señales químicas en señales eléctricas [52].
Electro-quimioluminiscente	Basado en la quimioluminiscencia a través de una reacción de transferencia de electrones [53].
Óptico	Detectan cambios en la luz (absorción, fluorescencia) para medir la concentración del analito [54].
Piezoléctrico	Los cambios en la masa o en la frecuencia de resonancia se utilizan para detectar analitos [55].

ROL DE LOS SUSTRATOS METALICOS EN BIOSENSORES

Recientemente, los biosensores basados que usan sustratos metálicos han adquirido una notable relevancia gracias a sus aplicaciones versátiles en numerosos campos de la ciencia y la tecnología. En estos dispositivos, los sustratos metálicos pueden servir como soporte o anclaje para el bioreceptor, optimizando la transferencia de señales debido a sus propiedades fisicoquímicas y ópticas únicas [56, 57]. Por lo que su incorporación es especialmente prometedora, ya que facilitan el flujo de corriente y mejoran la interacción entre el electrodo y el analito. Al recubrir los electrodos con nanomateriales mediante diversos nanomateriales como: nanopartículas metálicas, nanofibras, nanocables y nanotubos se incrementa significativamente el rendimiento de los biosensores [58].

Nanopartículas en biosensores. Con tamaños que oscilan entre 1 y 100 nm, presentan propiedades que dependen de su tamaño y han suscitado un creciente interés en la investigación [59].

Las nanopartículas metálicas incluyendo las de oro, plata y platino, tienen propiedades útiles en los biosensores como conductividad electrónica y generación de plasmones. Mientras que, las nanopartículas no metálicas, como los carbon dots, sílice y polímeros, también se utilizan de manera amplia en distintos tipos de biosensores [60][61].

Las nanopartículas de oro (AuNPs) sobresalen gracias a su gran estabilidad, baja resistencia eléctrica, amplia relación superficie-volumen, conductividad, además de ser químicamente inertes, biocompatibles y no tóxicas, lo que garantiza tanto su seguridad como su adecuada compatibilidad ambiental en aplicaciones médicas por lo que se vuelven las más empleadas. Estas propiedades las convierten en componentes ideales para integrar sistemas de biorreconocimiento con mecanismos de transducción de señales, como los biosensores [62][63][64][65].

Nanoclusters en biosensores. Los nanoclústeres metálicos (MNC) constituyen una clase especial de partículas extremadamente pequeñas, compuestas por unos pocos hasta cientos de átomos metálicos. Su núcleo metálico, menor a 2 nm, está formado por la agregación controlada de átomos metálicos y se encuentra recubierto por una monocapa de ligandos orgánicos (ML), que estabiliza los clústeres al prevenir su agregación en nanopartículas mayores o su degradación [66][67].

En esta escala ultrapequeña, la disposición particular de los átomos metálicos y de los ligandos determina propiedades fisicoquímicas únicas, distintas de las de las nanopartículas metálicas plasmónicas más grandes. Mientras que estas últimas exhiben resonancia plasmónica superficial (SPR), los MNC de menos de 2 nm presentan niveles de energía discretos y propiedades moleculares, como luminiscencia, quiralidad intrínseca y transiciones electrónicas específicas [68].

Nanofibras. hebras unidimensionales con alta superficie específica, resistencia y flexibilidad, lo que las hace ideales para aplicaciones biomédicas y de biodetección. Las NF electrohiladas sobresalen por la alta relación que hay entre superficie-volumen, lo que mejora la adsorción de analitos y la sensibilidad de detección. [69][70]

Los biorreceptores se inmovilizan en su superficie mediante absorción, enlaces covalentes, atrapamiento en matrices, reticulación química o interacciones electrostáticas, permitiendo la detección de múltiples analitos [71][72].

Estas propiedades hacen que las NF sean plataformas prometedoras para dispositivos en chip y en papel, que permiten pruebas rápidas, precisas y cercanas al paciente, como glucómetros y pruebas de embarazo, y representan un avance clave hacia la biodetección eficiente y de bajo costo.

Materiales bidimensionales (2D). Estas estructuras presentan un grosor de uno o pocos átomos y tamaños laterales que varían de nanómetros a cientos de nanómetros. Sus propiedades electrónicas, ópticas, químicas y físicas superiores se deben a características específicas como fase, cristalinidad, grado de exfoliación, estabilidad y tamaño, las cuales dependen en gran medida del método de síntesis [73][74].

Las destacadas características los hacen idóneos como plataformas o sondas en biosensores electroquímicos y ópticos, destinados a detectar contaminantes y moléculas biológicamente activas.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLOS RECIENTES DE BIOSENSORES EN BASADOS EN SUSTRATOS DE ORO

Se ha reportado en diversas publicaciones el uso de sustratos de oro en el diseño de biosensores dirigidos a la detección de toxinas, metales pesados, pesticidas en concentraciones muy bajas.

Debido a que la versatilidad del oro en forma de nanopartículas, películas delgadas o microelectrodos modificados ha permitido desarrollar plataformas sensibles y selectivas capaces.

En artículos recientes, se han reportado diversos biosensores basados en nanopartículas de oro (AuNPs) para la detección de micotoxinas, tal es el caso del desarrollo de un biosensor colorimétrico para detectar ocratoxina A y aflatoxina B1 en arroz, demostrando gran sensibilidad y aplicabilidad en granos. [75].

De igual manera, también se ha reportado el uso de electrodos impresos modificados con AuNPs para la detección de fumonisina B1 en harina de maíz, evidenciando la utilidad de estos sustratos en alimentos sólidos [76].

Las investigaciones también han abarcado la detección de contaminantes químicos como pesticidas, tal es el caso de un biosensor visual basado en AuNPs para detectar residuos de acetamiprid en productos agrícolas, con lectura mediante un smartphone, lo que acerca estas plataformas a aplicaciones portátiles y de bajo costo [77].

La leche ha sido un modelo utilizado frecuentemente para verificar la eficiencia de los biosensores que emplean sustratos de oro en medios líquidos. Un ejemplo explorado es un biosensor para identificar aflatoxina M₁ en leche. Se emplean aptámeros y polímeros con huella molecular (MIPs) sobre electrodos que fueron modificados con nanopartículas de oro, logrando una gran selectividad en matrices lácteas y límites de detección de hasta 0.07 nM [78].

AVANCES Y PERSPECTIVAS EN BIOSENSORES BASADOS EN SUSTRATOS DE ORO

Los avances más recientes subrayan el potencial de los biosensores basados en sustratos de oro en alimentos desde la producción hasta el consumo. Ya que el uso de sustratos de oro, en sus diversas formas nano y microestructuradas, constituye un elemento clave en la evolución de biosensores alimentarios por su capacidad para mejorar la inmovilización de bioreceptores, amplificar señales y permitir plataformas sensibles, rápidas y portátiles. A pesar de los notables avances en sensibilidad la implementación de estos biosensores fuera del laboratorio aún enfrenta retos importantes, principalmente asociados a la reproducibilidad de los procesos de fabricación, y la estandarización de las condiciones de medición [79][80][81].

En perspectiva las investigaciones se orientan a la integración de sustratos de oro compatibles con microdispositivos portátiles y tecnología de lectura digital, así como al desarrollo de interfaces basadas en inteligencia artificial. Esta evolución apunta a consolidar al oro no solo como material de referencia, sino como un elemento adaptable a las necesidades de la detección rápida, precisa y sostenible en el control de calidad alimentaria [84, 85, 86, 87, 88].

Estos desafíos evidencian la necesidad de fortalecer las estrategias de validación y escalamiento, de modo que los biosensores basados en sustratos de oro puedan evolucionar desde dispositivos experimentales hacia herramientas fiables y accesibles para el monitoreo rutinario de la inocuidad alimentaria.

REFERENCIAS

- [1] Onyeaka-H, Ghosh-S, Obileke-K, Miri-T, Odeyemi-OA, Nwaiwu-O, Tamasiga-P (2024). Preventing chemical contaminants in food: Challenges and prospects for safe and sustainable food production, *Food Control*, 155, 110 040.
- [2] Shuai-Y, Sui-H, Tao-G, Huo-Q, Li-C, Shao-N (2022). Food Contaminants, *Nutritional Toxicology*, 107–166.
- [3] Kato-LS, Conte-Junior-CA (2021). Safety of Plastic Food Packaging: The Challenges about Non-Intentionally Added Substances (NIAS) Discovery, Identification and Risk Assessment, *Polymers*, 13(13), 13.
- [4] Alam-S, Nisa-S, Daud-S (2022). Mycotoxins in Environment and Its Health Implications, *Hazardous Environmental Micro-pollutants, Health Impacts and Allied Treatment Technologies*, 289–318.
- [5] Sarker-A, Kim-JE, Islam-ARMT, Bilal-M, Rakib-MRJ, Nandi-R, Rahman-MM, Islam-T (2022). Heavy metals contamination and associated health risks in food webs—A review focuses on food safety and environmental sustainability in Bangladesh, *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 3230–3245.
- [6] Salamah-IU, Laraba-TF, David-BJ, Mercy-N (2024). International regulations in food contaminants, *Emerging contaminants in food and food products*, 29–43.
- [7] Lee-JG, Lee-Y, Kim-CS, Han-SB (2021). Codex Alimentarius commission on ensuring food safety and promoting fair trade: Harmonization of standards between Korea and codex, *Food Science and Biotechnology*, 30(9), 1151–1170
- [8] Bhavadharini-B, Kavimughil-M, Malini-B, Vallath-A, Prajapati-HK, Sunil-CK (2022). Recent Advances in Biosensors for Detection of Chemical Contaminants in Food—A Review, *Food Analytical Methods*, 15(6), 1545–1564.
- [9] Sheng-K, Jiang-H, Fang-Y, Wang-L, Jiang-D (2022). Emerging electrochemical biosensing approaches for detection of allergen in food samples: A review, *Trends in Food Science & Technology*, 121, 93–104.
- [10] Zhang-J, Huang-H, Song-G, Huang-K, Luo-Y, Liu-Q, He-X, Cheng-N (2022). Intelligent biosensing strategies for rapid detection in food safety: A review, *Biosensors and Bioelectronics*, 202, 114003.
- [11] Shaltout-FA (2024). New Ways to Avoid Hazards in Human Food, *Int J Spine Surg Res*, 1(1), 1–7.
- [12] Lebelo-K, Malebo-N, Mochane-MJ, Masinde-M (2021). Chemical Contamination Pathways and the Food Safety Implications along the Various Stages of Food Production: A Review, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 11.
- [13] Onyeaka-H, Ghosh-S, Obileke-K, Miri-T, Odeyemi-OA, Nwaiwu-O, Tamasiga-P (2024). Preventing chemical contaminants in food: Challenges and prospects for safe and sustainable food production, *Food Control*, 155, 110040.
- [14] Shuai-Y, Sui-H, Tao-G, Huo-Q, Li-C, Shao-N (2022). Food Contaminants, *Nutritional Toxicology*, 107–166.
- [15] Huo-B, Hu-Y, Gao-Z, Li-G (2021). Recent advances on functional nucleic acid-based biosensors for detection of food contaminants, *Talanta*, 222, 121565.

- [16] Li-H, Sheng-W, Haruna-SA, Bei-Q, Wei-W, Hassan-MM, Chen-Q (2023). Recent progress in photoelectrochemical sensors to quantify pesticides in foods: Theory, photoactive substrate selection, recognition elements and applications, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 164, 117108.
- [17] Tudi-M, Daniel Ruan-H, Wang-L, Lyu-J, Sadler-R, Connell-D, Chu-C, Phung-DT (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 3.
- [18] Fucic-A, Duca-RC, Galea-KS, Maric-T, Garcia-K, Bloom-MS, Vena-JE (2021). Reproductive health risks associated with occupational and environmental exposure to pesticides, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6576.
- [19] Briffa-J, Sinagra-E, Blundell-R (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans, *Heliyon*, 6(9).
- [20] Piwowarska-D, Kiedrzyńska-E, Jaszczyszyn-K (2024). A global perspective on the nature and fate of heavy metals polluting water ecosystems, and their impact and remediation, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 54(19), 1436–1458.
- [21] Rawat-H, Bhat-SA, Dhanjal-DS, Singh-R, Gandhi-Y, Mishra-SK, Kumar-V, Shakya-SK, Narasimhaji-CV, Singh-A, Singh-R, Acharya-R (2024). Emerging techniques for the trace elemental analysis of plants and food-based extracts: A comprehensive review, *Talanta Open*, 10, 100341.
- [22] Ali-MM, Hossain-D, Al-Imran-KMS, Begum-M, Osman-MH (2021). Environmental Pollution with Heavy Metals: A Public Health Concern, *Heavy Metals—Their Environmental Impacts and Mitigation*.
- [23] Briffa-J, Sinagra-E, Blundell-R (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans, *Heliyon*, 6(9).
- [24] De Girolamo-A, Lippolis-V, Pascale-M (2022). Overview of Recent Liquid Chromatography Mass Spectrometry-Based Methods for Natural Toxins Detection in Food Products, *Toxins*, 14(5), 5.
- [25] Tang-X, Zuo-J, Yang-C, Jiang-J, Zhang-Q, Ping-J, Li-P (2023). Current trends in biosensors for biotoxins (mycotoxins, marine toxins, and bacterial food toxins): principles, application, and perspective, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 165, 117144.
- [26] Awuchi-CG, Ondari-EN, Nwozo-S, Odongo-GA, Eseoghene-IJ, Twinomuhwezi-H, Ogbonna-CU, Upadhyay-AK, Adeleye-AO, Okpala-COR (2022). Mycotoxins' Toxicological Mechanisms Involving Humans, Livestock and Their Associated Health Concerns: A Review, *Toxins*, 14(3), 3.
- [27] Ganesan-AR, Mohan-K, Karthick Rajan-D, Pillay-AA, Palanisami-T, Sathishkumar-P, Conterno-L (2022). Distribution, toxicity, interactive effects, and detection of ochratoxin and deoxynivalenol in food: A review, *Food Chemistry*, 378, 131978.
- [28] Peivasteh-Roudsari-L, Pirhadi-M, Shahbazi-R, Eghbaljoo-Gharehgheshlaghi-H, Sepahi-M, Mirza Alizadeh-A, Tajdar-oranj-B, Jazaeri-S (2022). Mycotoxins: Impact on Health and Strategies for Prevention and Detoxification in the Food Chain, *Food Reviews International*, 38(sup1), 193–224.
- [29] Mkangara-M (2023). Prevention and Control of Human Salmonella enterica Infections: An Implication in Food Safety, *International Journal of Food Science*, 2023(1), 8899596.
- [30] Tiwari-A, Nagalli-S (2024). Clostridium botulinum Infection (Archived), *StatPearls*.

- [31] Yada-EL, Menta-YD (2023). Review on Prevalence of *Bacillus cereus* Enterotoxigenic Genes Isolated from Food of Animal Origin and its Public Health Significance, *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 18(2), 16–23.
- [32] Vasavada-PC, Lee-A, Betts-R (2020). Conventional and novel rapid methods for detection and enumeration of microorganisms, *Food Safety Engineering*, 85–128.
- [33] Haque-F, Bubli-SY, Khan-MS (2021). UV–Vis Spectroscopy for Food Analysis, *Techniques to Measure Food Safety and Quality: Microbial, Chemical, and Sensory*, 169–193.
- [34] Qi-W, Tian-Y, Lu-D, Chen-B (2022). Research Progress of Applying Infrared Spectroscopy Technology for Detection of Toxic and Harmful Substances in Food, *Foods*, 11(7), 7.
- [35] Caño-Carrillo-I, Gilbert-López-B, Montero-L, Martínez-Piernas-AB, García-Reyes-JF, Molina-Díaz-A (2024). Comprehensive and heart-cutting multidimensional liquid chromatography–mass spectrometry and its applications in food analysis, *Mass Spectrometry Reviews*, 43(5), 936–976.
- [36] Vargas Medina-DA, Bassolli Borsatto-JV, Maciel-EVS, Lanças-FM (2021). Current role of modern chromatography and mass spectrometry in the analysis of mycotoxins in food, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 135, 116156.
- [37] Hong-SP (2024). Detecting agri contaminants via nanomaterial immunosensors, *Food and Humanity*, 3, 100325.
- [38] Li-R, Wen-Y, Wang-F, He-P (2021). Recent advances in immunoassays and biosensors for mycotoxins detection in feedstuffs and foods, *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1), 108.
- [39] Abolghait-SK, Fathi-AG, Youssef-FM, Algammal-AM (2020). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) isolated from chicken meat and giblets often produces staphylococcal enterotoxin B (SEB) in non-refrigerated raw chicken livers, *International Journal of Food Microbiology*, 328, 108669.
- [40] Ferone-M, Gowen-A, Fanning-S, Scannell-AGM (2020). Microbial detection and identification methods: Bench top assays to omics approaches, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3106–3129.
- [41] Bhaiyya-M, Panigrahi-D, Rewatkar-P, Haick-H (2024). Role of machine learning assisted biosensors in point-of-care-testing for clinical decisions, *ACS Sensors*, 9(9), 4495–4519.
- [42] Zhang-L, Yang-Q, Zhu-Z (2024). The Application of Multi-Parameter Multi-Modal Technology Integrating Biological Sensors and Artificial Intelligence in the Rapid Detection of Food Contaminants, *Foods*, 13(12), 12.
- [43] Chadha-U, Bhardwaj-P, Agarwal-R, Rawat-P, Agarwal-R, Gupta-I, Panjwani-M, Singh-S, Ahuja-C, Selvaraj-SK, Banavoth-M, Sonar-P, Badoni-B, Chakravorty-A (2022). Recent progress and growth in biosensors technology: A critical review, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 109, 21–51.
- [44] Karunakaran-R, Keskin-M (2022). Chapter 11 - Biosensors: Components, mechanisms, and applications, *Analytical Techniques in Biosciences*, 179–190.
- [45] Polat-EO, Cetin-MM, Tabak-AF, Bilget Güven-E, Uysal-BÖ, Arsan-T, Gül-SB (2022). Transducer technologies for biosensors and their wearable applications, *Biosensors*, 12(6), 385.

- [46] Feyziazar-M, Amini-M, Jahanban-Esfahlan-A, Baradaran-B, Oroojalian-F, Kamrani-A, de la Guardia-M (2022). Recent advances on the piezoelectric, electrochemical, and optical biosensors for the detection of protozoan pathogens, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 157, 116803.
- [47] Sim-D, Brothers-MC, Slocik-JM, Islam-AE, Maruyama-B, Grigsby-CC, Naik-RR, Kim-SS (2022). Biomarkers and Detection Platforms for Human Health and Performance Monitoring: A Review, *Advanced Science*, 9(7), 2104426.
- [48] Lupu-LM, Wiegand-P, Holdschick-D, Mihoc-D, Maeser-S, Rawer-S, Przybylski-M (2021). Identification and affinity determination of protein-antibody and protein-aptamer epitopes by biosensor-mass spectrometry combination, *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23), 12832.
- [49] Bucur-B, Purcarea-C, Andreescu-S, Vasilescu-A (2021). Addressing the Selectivity of Enzyme Biosensors: Solutions and Perspectives, *Sensors*, 21(9), 9.
- [50] Zhang-C, Zhao-Y, Xu-X, Xu-R, Li-H, Teng-X, Han-D (2020). Cancer diagnosis with DNA molecular computation, *Nature Nanotechnology*, 15(8), 709–715.
- [51] Zhu-J, Wang-B, Zhang-Y, Wei-T, Gao-T (2023). Living electrochemical biosensing: Engineered electroactive bacteria for biosensor development and the emerging trends, *Biosensors and Bioelectronics*, 237, 115480.
- [52] Huang-X, Zhu-Y, Kianfar-E (2021). Nano biosensors: properties, applications and electrochemical techniques, *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 1649–1672.
- [53] Zhao-W, Chen-HY, Xu-JJ (2021). Electrogenated chemiluminescence detection of single entities, *Chemical Science*, 12(16), 5720–5736.
- [54] De Acha-N, Socorro-Leránz-AB, Elosúa-C, Matías-IR (2021). Trends in the Design of Intensity-Based Optical Fiber Biosensors (2010–2020), *Biosensors*, 11(6), 6.
- [55] Durdaut-P, Höft-M (2023). Performance Analysis of Resonantly Driven Piezoelectric Sensors Operating in Amplitude Mode and Phase Mode, *Sensors*, 23(4), 4.
- [56] Naresh-V, Lee-N (2021). A review on biosensors and recent development of nanostructured materials-enabled biosensors, *Sensors*, 21(4), 1109.
- [57] Naresh-V, Lee-N (2021). A review on biosensors and recent development of nanostructured materials-enabled biosensors, *Sensors*, 21(4), 1109.
- [58] Iftikhar-FJ, Shah-A, Wali-Q, Kokab-T (2023). Advancements in nanofiber-based electrochemical biosensors for diagnostic applications, *Biosensors*, 13(4), 416.
- [59] Dolai-J, Mandal-K, Jana-NR (2021). Nanoparticle size effects in biomedical applications, *ACS Applied Nano Materials*, 4(7), 6471–6496.
- [60] Awan-TI, Afsheen-S, Mushtaq-A (2025). Overview of Noble Metals, *Influence of Noble Metal Nanoparticles in Sustainable Energy Technologies*, 49–78.
- [61] Feng-L, Song-S, Li-H, He-R, Chen-S, Wang-J, Zhao-X (2023). Nano-biosensors based on noble metal and semiconductor materials: emerging trends and future prospects, *Metals*, 13(4), 792.
- [62] Sati-A, Mali-SN, Samdani-N, Annadurai-S, Dongre-R, Satpute-N, Pratap-AP (2025). From past to present: Gold nanoparticles (AuNPs) in daily life—synthesis mechanisms, influencing factors, characterization, toxicity, and emerging applications in biomedicine, nanoelectronics, and materials science, *ACS Omega*, 10(31), 33999–34087.

- [63] Ielo-I, Rando-G, Giacobello-F, Sfameni-S, Castellano-A, Galletta-M, Plutino-MR (2021). Synthesis, chemical–physical characterization, and biomedical applications of functional gold nanoparticles: a review, *Molecules*, 26(19), 5823.
- [64] Zhuang-L, Lian-Y, Zhu-T (2025). Multifunctional gold nanoparticles: bridging detection, diagnosis, and targeted therapy in cancer, *Molecular Cancer*, 24(1), 228.
- [65] Karnwal-A, Kumar-Sachan-RS, Devgon-I, Devgon-J, Pant-G, Panchpuri-M, Kumar-G (2024). Gold nanoparticles in nanobiotechnology: from synthesis to biosensing applications, *ACS Omega*, 9(28), 29966–29982.
- [66] Xiao-Y, Wu-Z, Yao-Q, Xie-J (2021). Luminescent metal nanoclusters: Biosensing strategies and bioimaging applications, *Aggregate*, 2(1), 114–132.
- [67] Nasrollahpour-H, Sanchez-BJ, Sillanpaa-M, Moradi-R (2023). Metal nanoclusters in point-of-care sensing and biosensing applications, *ACS Applied Nano Materials*, 6(14), 12609–12672.
- [68] Maity-S, Kolay-S, Chakraborty-S, Devi-A, Patra-A (2025). A comprehensive review of atomically precise metal nanoclusters with emergent photophysical properties towards diverse applications, *Chemical Society Reviews*.
- [69] Halicka-K, Cabaj-J (2021). Electrospun nanofibers for sensing and biosensing applications—a review, *International Journal of Molecular Sciences*, 22(12), 6357.
- [70] Kang-S, Zhao-K, Yu-DG, Zheng-X, Huang-C (2022). Advances in biosensing and environmental monitoring based on electrospun nanofibers, *Advanced Fiber Materials*, 4(3), 404–435.
- [71] Rather-AH, Khan-RS, Wani-TU, Beigh-MA, Sheikh-FA (2022). Overview on immobilization of enzymes on synthetic polymeric nanofibers fabricated by electrospinning, *Biotechnology and Bioengineering*, 119(1), 9–33.
- [72] Khan-RS, Rather-AH, Wani-TU, Rather-SU, Amna-T, Hassan-MS, Sheikh-FA (2023). Recent trends using natural polymeric nanofibers as supports for enzyme immobilization and catalysis, *Biotechnology and Bioengineering*, 120(1), 22–40.
- [73] Aditya-DS, Nataraj-SK (2024). Structural, optical, and electronic properties of two-dimensional nanomaterials, *Two-Dimensional Nanomaterials-Based Polymer Nanocomposites: Processing, Properties and Applications*, 167–194.
- [74] Fatma-I, Assad-H, Kumar-A (2024). Introduction to two-dimensional nanomaterials: discovery, types and classifications, structure, unique properties, and applications, *Two-Dimensional Nanomaterials-Based Polymer Nanocomposites: Processing, Properties and Applications*, 1–45.
- [75] Li-R, Li-L, Huang-T, Liu-X, Chen-Q, Jin-G, Cao-H (2021). Gold nanoparticle-based colorimetric aptasensor for rapid detection of multiple mycotoxins in rice, *Analytical Methods*, 13(47), 5749–5755.
- [76] Naghshbandi-B, Adabi-M, Pooshang-Bagheri-K, Tavakolipour-H (2022). Design of a new electrochemical aptasensor based on screen printed carbon electrode modified with gold nanoparticles for the detection of fumonisin B1 in maize flour, *Journal of Nanobiotechnology*, 20(1), 534.
- [77] Xu-C, Lin-M, Song-C, Chen-D, Bian-C (2022). A gold nanoparticle-based visual aptasensor for rapid detection of acetamiprid residues in agricultural products using a smartphone, *RSC Advances*, 12(9), 5540–5545.

- [78] Yang-D, Hui-Y, Liu-Y, Wang-W, He-C, Zhao-A, ... & Wang-B (2024). Novel dual-recognition electrochemical biosensor for the sensitive detection of AFM1 in milk, *Food Chemistry*, 433, 137362.
- [79] Park-SH, You-Y (2023). Gold nanoparticle-based colorimetric biosensing for foodborne pathogen detection, *Foods*, 13(1), 95.
- [80] Karnwal-A, Kumar-Sachan-RS, Devgon-I, Devgon-J, Pant-G, Panchpuri-M, ... & Kumar-G (2024). Gold nanoparticles in nanobiotechnology: from synthesis to biosensing applications, *ACS Omega*, 9(28), 29966–29982.
- [83] Sharifi-S, Reuel-N, Kallmyer-N, Sun-E, Landry-MP, Mahmoudi-M (2022). The issue of reliability and repeatability of analytical measurement in industrial and academic nanomedicine, *ACS Nano*, 17(1), 4–11.
- [84] Zhao, Y., Sun, T., Zhang, H., Lian, C., Zhao, Z., Jiang, Y., ... & Chen, S. (2025). Artificial intelligence enhanced electrochemical immunoassay for staphylococcal enterotoxin B. *Scientific Reports*, 15(1), 19602.
- [85] Baker-DV, Bernal-Escalante-J, Traaseth-C, Wang-Y, Tran-MV, Keenan-S, Algar-WR (2025). Smartphones as a platform for molecular analysis: concepts, methods, devices and future potential, *Lab on a Chip*.
- [86] Xing-E, Chen-H, Xin-X, Cui-H, Dou-Y, Song-S (2025). Recent advances in smart phone-based biosensors for various applications, *Chemosensors*, 13(7), 221.
- [87] Azodo-AP, Mezue-TC, Omokaro-I (2025). Smartphone-based biosensors: current trends, challenges, and future prospects, *Engineering Proceedings*, 106(1), 10.
- [88] Al-Shawi-SG, Nasser-EK, Kareem-AK, Suliman-M, Shankar-A, Ray-S, ... & Hulail-HM (2025). Smartphone-integrated lateral flow assays for food safety assessment: recent trends and future perspectives, *Microchemical Journal*, 113978.

