

REVOLUCIÓN MOLECULAR: LA TECNOLOGÍA QUE REVELA LO QUE NO PODEMOS VER

Gethzemani Mayeli Estrada Villegas^{1,2}, Giovanni Gonzalez-Pérez^{3,4}, Génesis Salazar Fuentes^{3,4}, José Luis Hernández García^{3,4}

¹La Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

²Centro de Investigación en Química Aplicada

³Tecnológico Nacional de México

⁴Instituto Tecnológico de Nuevo León

mayeli.estrada@ciqa.edu.mx, giovanni.gp@nuevoleon.tecnm.mx, jose.hg@nuevoleon.tecnm.mx

Boletín No. 109, 1o. de julio de 2025

Resumen

¿Imagina poder detectar virus, bacterias o pesticidas en segundos? Gracias a una tecnología llamada SERS (espectroscopía Raman mejorada por superficie), este tipo de herramientas podría aplicarse en todo el mundo de manera portátil y accesible. La técnica SERS permite detectar cantidades extremadamente pequeñas de sustancias químicas midiendo la vibración de las moléculas al ser iluminadas con un láser, señal que es amplificada millones de veces mediante superficies metálicas nanoestructuradas. Este artículo explora cómo los recientes desarrollos en sustratos SERS multifuncionales —como sustratos elásticos, separadores de sustancias, autocalibrables y reutilizables— prometen sacar esta tecnología de los laboratorios especializados y llevarla a la vida cotidiana, revolucionando campos como la medicina, la seguridad, la ciencia forense y el monitoreo ambiental.

Palabras Clave: SERS, espectroscopía Raman, nanotecnología, sustratos multifuncionales, detección molecular.

Abstract

Imagine being able to detect viruses, bacteria, or pesticides in seconds. Thanks to a technology called SERS (Surface-Enhanced Raman Spectroscopy), tools like these could soon be used around the world in a portable and accessible manner. The SERS technique allows for the detection of extremely small amounts of chemical substances by measuring the vibration of molecules when illuminated with a laser, a signal that is amplified millions of times by nanostructured metallic surfaces. This article explores how recent developments in multifunctional SERS substrates—such as elastic, substance-separating, self-calibrating, and reusable substrates—promise to take this technology out of specialized laboratories and into everyday life, revolutionizing fields like medicine, security, forensic science, and environmental monitoring.

Keywords: SERS, Raman spectroscopy, nanotechnology, multifunctional substrates, molecular detection.

1. Introducción

¿Imagina poder detectar virus, bacterias o pesticidas en segundos? Imagina que puedas pegar una cinta adhesiva en la superficie de una manzana o naranja y que, en cuestión de segundos, te muestre si hay residuos de pesticidas u otros contaminantes. O bien usar un hisopo que al contacto con toda clase de superficies pueda detectar virus como el de la gripe o el COVID-19, sin necesidad de llevar la muestra hasta un laboratorio especializado.

Suena a una película de ciencia ficción ¿verdad? Gracias a una tecnología llamada SERS, este tipo de herramientas podría aplicarse en todo el mundo. SERS son las siglas en inglés de Surface-Enhanced Raman Spectroscopy, o en español, espectroscopía Raman mejorada por superficie. Aunque este nombre suena complicado, la idea detrás de la técnica es sencilla pero a la vez muy poderosa: se trata de una forma de

escuchar a las moléculas. No "literalmente", pero sí de detectar su presencia a través de la luz que emiten o absorben las moléculas.

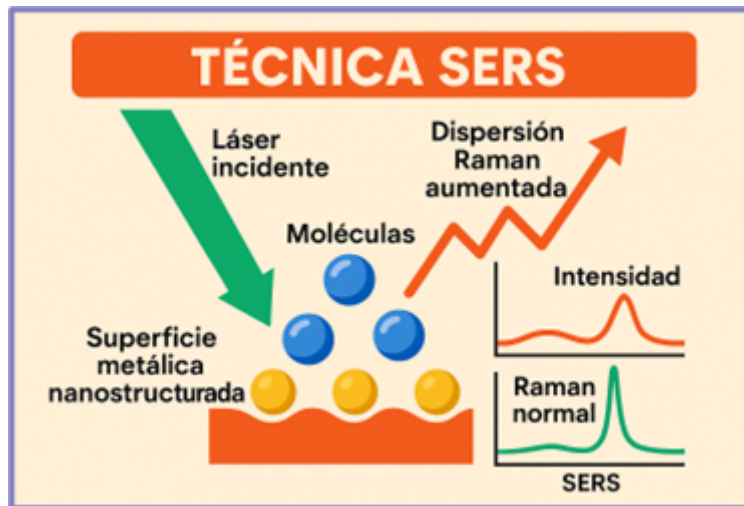


Figura 1 Esquema representativo de la Técnica SERS mostrando la interacción del láser con moléculas en una superficie metálica nanoestructurada.

2. ¿Qué es exactamente SERS y por qué es tan útil?

SERS es una técnica que permite detectar cantidades extremadamente pequeñas de sustancias químicas a partir de la espectroscopía llamada Raman. Se hace midiendo la vibración de las moléculas al ser iluminadas con un láser. Cada sustancia tiene una "firma" única, un patrón característico de vibraciones que funciona como una "huella dactilar".

El desafío es que, normalmente, estas señales son muy débiles e indetectables. Aquí es donde entra en juego el análisis de "mejora por superficie". Cuando las moléculas están muy cerca de ciertos metales, como el oro o la plata, la señal de interacción con la luz láser se amplifica miles o incluso millones de veces. Así, lo que antes era invisible, ahora se vuelve detectable. Esta característica hace que la tecnología SERS sea una herramienta muy valiosa para identificar sustancias en diversos campos.

3. ¿En dónde se podría aplicar la técnica de SERS?

- **En medicina**, para detectar enfermedades de forma rápida en el lugar donde se encuentra el paciente.
- **En la industria alimentaria**, para comprobar si un alimento está contaminado.
- **En el medio ambiente**, para monitorear la calidad del agua o del aire.
- **En la seguridad**, para detectar drogas, explosivos o sustancias peligrosas.



Figura 2 Aplicaciones de SERS en detección de contaminantes, análisis biomédico, caracterización de nanomateriales y ciencia forense.

4. El desafío de llevar SERS del laboratorio a la vida cotidiana

A pesar de sus grandes ventajas y el crecimiento en desarrollo de detectores Raman portátiles, SERS ha enfrentado una limitación considerable. Esta técnica requiere de ciertos sustratos metálicos para su funcionamiento. Estos sustratos son superficies de oro, plata u otros materiales donde se colocan las muestras para ser analizadas.

Estas superficies son muy importantes porque amplifican la señal que emiten las moléculas. El problema es que estos sustratos suelen ser costosos, frágiles y difíciles de manejar fuera del laboratorio. Algunos son de un uso y otros requieren condiciones especiales al preparar las muestras a analizar. Esto ha hecho que, hasta ahora, la tecnología de SERS sea una técnica útil pero confinada a laboratorios especializados.

5. Nuevos sustratos SERS multifuncionales

Los desarrollos recientes en materiales y nanotecnología están llevando a nuevos tipos de sustratos, más prácticos y versátiles. Estos se conocen como sustratos multifuncionales, porque no solo amplifican la señal de las moléculas, sino que además ofrecen otras funciones que facilitan mucho el análisis. Algunos ejemplos se describen a continuación.

5.1 Sustratos elásticos

Imagina una cinta flexible que se puede adaptar a cualquier superficie. Por ejemplo, podrías envolver un plátano con esta cinta para determinar si tiene químicos tóxicos en su piel. Estos sustratos elásticos se pueden doblar, estirar o moldear sin perder su capacidad para detectar sustancias. Son ideales para analizar objetos con formas irregulares o de difícil acceso.

5.2 Sustratos que separan sustancias

A menudo, las muestras a analizar no están "limpias". Por ejemplo, una gota de sangre o una muestra de agua contaminada puede tener muchas sustancias mezcladas. Algunos nuevos sustratos incluyen filtros,

imanes o capas especiales que separan o descartan las sustancias que no interesan de las que se requieren analizar. Esto mejora la calidad de los resultados y reduce el tiempo de preparación.



Figura 3 Nuevos sustratos SERS multifuncionales: Superficie nanoestructurada, Modificación funcional y Captura de analitos.

5.3 Sustratos con auto-calibración

Cuando se trabaja con medidas tan pequeñas, cualquier error puede afectar el resultado. Por eso, algunos sustratos podrán incluir "marcadores internos", es decir, señales de referencia que permiten calibrar el sistema automáticamente. Esto hace que las mediciones sean más precisas, aunque el usuario no tenga conocimiento técnico.

5.4 Sustratos reutilizables

La mayoría de los sustratos son de un solo uso, lo que los hace caros e ineficientes. Los investigadores están desarrollando sustratos que se pueden limpiar y usar varias veces. Algunos sustratos se podrían limpiar con productos suaves como borohidruro de sodio; otros, más avanzados, usarían la luz para "borrar" la muestra anterior. Incluso podría haber sustratos con superficies antiadherentes, que repelen el agua y la suciedad, facilitando su limpieza.

6. ¿Qué desafíos existen?

Aunque el futuro de la técnica SERS es prometedor, aún hay retos importantes que deben superarse:

- **Costo de producción:** aunque los nuevos sustratos son más económicos que los anteriores, se busca reducir aún más su costo, especialmente si se van a usar de forma masiva.
- **Resistencia y durabilidad:** los sustratos deben funcionar bien en condiciones reales, como ambientes húmedos, sucios o con temperaturas variables. Aún se trabaja en hacerlos más resistentes.
- **Estandarización:** SERS debe ser una herramienta confiable a gran escala, para ello se requiere que los resultados sean comparables entre distintos laboratorios y dispositivos. Esto exige establecer estándares internacionales de fabricación y uso.

7. ¿Qué viene en el futuro?

La comunidad científica está trabajando para crear sustratos "inteligentes", que combinen varias funcionalidades en un solo producto. Por ejemplo, un sustrato que sea flexible, que filtre impurezas, que se auto-

calibre y que además se pueda reutilizar. También se está investigando el uso de materiales alternativos al oro y la plata, que sean más baratos y sostenibles.

El objetivo es claro: llevar esta herramienta de manera asequible a quien lo necesite, desde personal médico hasta agricultores, pasando por inspectores de alimentos y ciudadanos sin experiencia técnica.



Figura 4 La comunidad científica está trabajando para crear sustratos "inteligentes": flexibles, que filtren impurezas y reutilizables.

8. Conclusiones

En resumen, la técnica SERS es una tecnología que, aunque poco conocida fuera del mundo científico, tiene el potencial de revolucionar la forma en que analizamos el mundo que nos rodea. Desde detectar enfermedades en segundos hasta verificar si un alimento está libre de sustancias químicas peligrosas, las aplicaciones potenciales son enormes.

Gracias a los sustratos multifuncionales, harán esta tecnología más accesible, práctica y económica. La revolución química-tecnológica ha comenzado. No se trata solo de un avance técnico-científico: es un paso hacia un futuro donde la información química esté al alcance de todos, en cualquier momento y en el lugar donde se necesite.

Referencias bibliográficas

- [1] Beeram, R.; Banerjee, D.; Narlagiri, L. M.; Soma, V. R. (2022). *Machine Learning for Rapid Quantification of Trace Analyte Molecules Using SERS and Flexible Plasmonic Paper Substrates*. *Anal. Methods*, 14 (18), 1788-1796. <https://doi.org/10.1039/D2AY00408A>
- [2] Li, C.; Huang, Y.; Li, X.; Zhang, Y.; Chen, Q.; Ye, Z.; Alqarni, Z.; Bell, S. E. J.; Xu, Y. (2021). *Towards Practical and Sustainable SERS: A Review of Recent Developments in the Construction of Multifunctional Enhancing Substrates*. *J. Mater. Chem. C*, 9 (35), 11517-11552. <https://doi.org/10.1039/D1TC02134F>
- [3] Atta, S., Li, J. Q., Vo-Dinh, T. (2023). *Multiplex SERS Detection of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Pollutants in Water Samples Using Gold Nanostars and Machine Learning Analysis*. *Analyst*, 148 (20), 5105-5116. <https://doi.org/10.1039/D3AN00636K>
- [4] Zheng, H.; Ding, Q.; Li, C.; Chen, W.; Chen, X. Lin, Q.; Wang, D.; Weng, Y.; Lin, D. (2022). *Recent Progress in Surface-Enhanced Raman Spectroscopy-Based Biosensors for the Detection of Extracellular Vesicles*. *Anal. Methods*, 14 (42), 4161-4173. <https://doi.org/10.1039/D2AY01339H>

Estrada Villegas, G. M., Gonzalez-Pérez, G., Salazar Fuentes, G., Hernández García, J. L. (2026). *REVOLUCIÓN MOLECULAR: LA TECNOLOGÍA QUE REVELA LO QUE NO PODEMOS VER*. *Boletín UPIITA*. año XX, (NÚM) 2026.