



Somos **calidad**,
somos **USC**

Nuevas Sustancias Psicoactivas, Retos y Tendencias en la Identificación Forense: Una Revisión Sistémica

Autor:
Diana Sinisterra Amú

Título por el que opta:
Químico Farmacéutico

Director (a)
Dennis Mauricio Ocampo

Grupo de Investigación: Grupo de Investigación en Electroquímica y Medio Ambiente (GIEMA)

Línea de Investigación: Aseguramiento de la Calidad

Universidad Santiago de Cali
Facultad de Ciencias Básicas
Programa de Química Farmacéutica
Ciudad, Colombia
2025

IMPACTOS

Este documento analiza y evalúa la forma en la que las técnicas espectroscópicas para la detección de drogas sintéticas han avanzado en la química forense, esto, teniendo en cuenta la necesidad de encontrar resultados más precisos y eficientes tras la caracterización de estas sustancias con una perspectiva clara hacia la seguridad pública y la salud.

Tabla 1: Impactos de la investigación

IMPACTO	PRODUCTO	BENEFICIARIO(S)
Económico	Visibilidad de las aplicaciones avanzadas en la identificación forense de nuevas sustancias psicoactivas.	Instituciones de salud pública, autoridades judiciales y laboratorios forenses que optimizan recursos para la identificación eficiente de sustancias ilícitas.
Responsabilidad Social	Mejora en la detección de nuevas sustancias psicoactivas, contribuyendo a la reducción de riesgos asociados al consumo y tráfico de estas sustancias.	Comunidades afectadas por el tráfico de drogas, autoridades encargadas de la seguridad pública y la justicia.
Científico	Desarrollo de metodologías avanzadas para el análisis forense de nuevas sustancias psicoactivas.	Comunidad científica y académica, enfocada en la mejora de tecnologías de análisis y en la protección de la salud pública.
Indicadores de Gestión	Optimización de los protocolos de análisis forense para la detección de nuevas sustancias psicoactivas.	Organismos reguladores, fuerzas de seguridad y laboratorios forenses que adoptan nuevas tecnologías de identificación rápida y eficiente.
Tecnológico	Avances en dispositivos forenses para la identificación rápida y precisa de nuevas sustancias psicoactivas.	Empresas tecnológicas, agencias de seguridad y organizaciones de salud pública, mejorando su capacidad de intervención en situaciones críticas.
Técnico	Innovación en la aplicación de técnicas espectroscópicas y otras tecnologías para la identificación de nuevas sustancias psicoactivas.	Laboratorios forenses, policías y expertos en toxicología que implementan nuevas técnicas de análisis en el campo forense.
Ambiental	Reducción del uso de químicos peligrosos y mejora en la sostenibilidad de los métodos de análisis forense.	Medio ambiente, promoviendo prácticas más ecológicas y sostenibles en la lucha contra el narcotráfico.

Social	Contribución a la seguridad y salud pública mediante la mejora en la detección de nuevas sustancias psicoactivas y la lucha contra el crimen organizado.	La sociedad en general, beneficiándose de una mayor seguridad y reducción de los delitos relacionados con el consumo de drogas.
Cultural	Promoción de la conciencia social sobre la importancia de las nuevas tecnologías en la identificación forense de nuevas sustancias psicoactivas.	Comunidades afectadas por el consumo de drogas, fomentando la educación sobre los riesgos de las nuevas sustancias psicoactivas.

Nuevas Sustancias Psicoactivas, retos y tendencias en la identificación forense: Una revisión sistémica

Diana Sinisterra Amú (diana.sinisterra04@usc.edu.co)

Programa de Química Farmacéutica. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Campus Pampalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali. Colombia

RESUMEN

Actualmente, existe una gran variedad de sustancias psicoactivas (NSP), cuya evolución y variabilidad química está siendo cada vez más rápida. Éstas, a pesar de ser muy similares a las drogas ilegales, suelen ser muy complejas de analizar principalmente si se tratan por medios tradicionales. Tras una revisión literaria de publicaciones de la última década, se identificó que los estudios vienen evaluando la precisión de nuevas tecnologías para la detección de estas nuevas sustancias psicoactivas. Con ello, se resalta que cada método cuenta con características que son esenciales para la identificación de estas, como es: La espectroscopía de masas de alta resolución y la espectroscopía vibracional son muy precisas y rápidas; adicionalmente, al integrar los métodos con inteligencia artificial y/o nanomateriales, se evidencia una optimización radical para dicha identificación, incluso con sustancias desconocidas. De esta forma, las tecnologías analíticas avanzadas permiten tener una mayor capacidad de detección de NSP en comparación con los métodos tradicionales, adicionalmente, se requiere alimentación constante de las bases de datos con información consolidada para mejorar los métodos de identificación y así mismo, su precisión.

Palabras clave: *Técnicas analíticas; Identificación forense; Inteligencia artificial; Nuevas sustancias psicoactivas.*

New Psychoactive Substances: Challenges and Trends in Forensic Identification

ABSTRACT

Currently, there is a wide variety of psychoactive substances (NPS), whose evolution and chemical variability are increasingly rapid. These substances, despite being very similar to illegal drugs, are often very complex to analyze, especially if they are treated by traditional means. A literature review of publications from the last decade identified studies evaluating the accuracy of new technologies for the detection of these new psychoactive substances. This highlights the fact that each method has essential characteristics for their identification, such as: High-resolution mass spectroscopy and vibrational spectroscopy are very accurate and rapid; additionally, integrating these methods with artificial intelligence and/or nanomaterials demonstrates radical optimization for such identification, even with unknown substances. Thus, advanced analytical technologies allow for greater NPS detection capacity compared to traditional methods. Furthermore, constant input of databases with consolidated information is required to improve identification methods and, consequently, their accuracy.

Keywords: *Analytical techniques; Forensic identification; Artificial intelligence; New psychoactive substances.*

HIGHLIGHTS

- La rápida evolución y transformación de las nuevas sustancias psicoactivas (NSP), han hecho más compleja su identificación forense y poseen una alta capacidad para eludir marcos regulatorios.
- Las tecnologías analíticas avanzadas, como la **espectrometría de masas**, **espectroscopía** y la **inteligencia artificial**, han mejorado la precisión y rapidez en la detección de NSP.
- La **Espectroscopía Raman** mejorada (SERS) y los sensores electroquímicos han mejorado la identificación de NSP, pues es altamente sensible, incluso con la posibilidad de hacer análisis *in situ*.
- La combinación de inteligencia artificial con plataformas analíticas avanzadas optimiza la identificación de compuestos conocidos y desconocidos, mejorando la respuesta ante amenazas emergentes.
- Es indispensable la alimentación de bases de datos con actualizaciones, con el fin de mejorar la calidad de información que permita aumentar la precisión en la identificación de las NSP ante su evidente avance.

1. Introducción

El aumento de las nuevas sustancias psicoactivas (NSP) informado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) ésta generando preocupación en el ámbito forense y en la salud pública. Dado su rápido avance, son cada vez más difíciles de detectar utilizando métodos tradicionales (1), ya que cuentan con modificaciones químicas que las hacen muy similares a las drogas ilegales (2). Según información reciente de la UNODC (3), el número de consumidores de drogas a nivel mundial presentó un incremento del 20% en la última década (4).

La mayor dificultad en la detección de las NSP es la gran variabilidad en su composición química, lo que hace que métodos como la cromatografía en capa fina (TLC) o la espectrometría de masas (MS) no sean eficientes con las nuevas variantes y actualizaciones (5,6). A pesar de que se usan técnicas que han sido fundamentales en laboratorios forenses, tales como la espectrometría de masas y la cromatografía de gases, se ha evidenciado un faltante importante de información en las bases de datos lo que limita su efectividad (7), pues, suele tratarse de aparición de nuevos compuestos, es decir, que se trata de sustancias desconocidas. Cabe resaltar, que es de suma importancia ir a la par con la velocidad de detección y actualización de información de estas NSP, ya que, por lo novedosas que son, logran evadir controles legales mediante sus modificaciones químicas, facilitando su comercio (8). Esto sumado a las nuevas formas de comercialización, ya que, a través de las redes sociales e internet, el tráfico es mucho más sencillo (9), adicional a sus formas que ya no son únicamente polvos y tabletas, si no también líquidos y vaporizadores (10). Se han documentado más de 1.200 tipos de NSP, lo que hace más necesario el tener que reforzar los mecanismos para monitoreo y control. En Colombia, se han detectado más de 59 NSP desde 2014 (11).

Esto no es muy diferente en el campo de la toxicología forense, dado que por la misma falta de información o de procedimientos que estén estandarizados, se dificulta el análisis de intoxicación (11). A esto, se le agrega, los tiempos de análisis de estos casos, se carece de métodos que sean efectivos, rápidos y precisos, ocasionando respuestas lentas en casos médicos y de criminalística (12). La Espectroscopía vibracional ha sido una alternativa en respuesta a esta problemática en conjunto con tecnologías adicionales como la inteligencia artificial, lo que ha permitido reducir tiempos de respuesta y disminuir la incertidumbre en los resultados (13, 14).

La preocupación informada, no solo viene dada por el aumento de casos de consumo de uso recreativo y su impacto en menores de edad, si no también desde la perspectiva clínica puesto que los efectos que causan las NSP suelen ser impredecibles, y dado que no existe suficiente información suficiente sobre su impacto fisiológico (15) se hace más complejo su tratamiento cuando presenta afectaciones a la salud del consumidor (16). Algunos de sus efectos incluyen episodios psicóticos, excesos de serotonina y fallo en algunos órganos (17).

Según su mecanismo de acción, las nuevas sustancias psicoactivas (NSP) se agrupan en seis categorías principales. La figura 1 muestra la cantidad de notificaciones realizadas entre 2012 y 2023 para cada grupo. Desde que comenzaron a ser monitoreadas en 2008, los estimulantes y los agonistas sintéticos de los receptores de cannabinoides representan el 61 % del total de NSP registradas. Aunque se observan variaciones anuales en las sustancias reportadas, el

número total ha permanecido relativamente estable, entre 400 y 500 sustancias notificadas anualmente a la UNODC en los últimos cinco años (18).

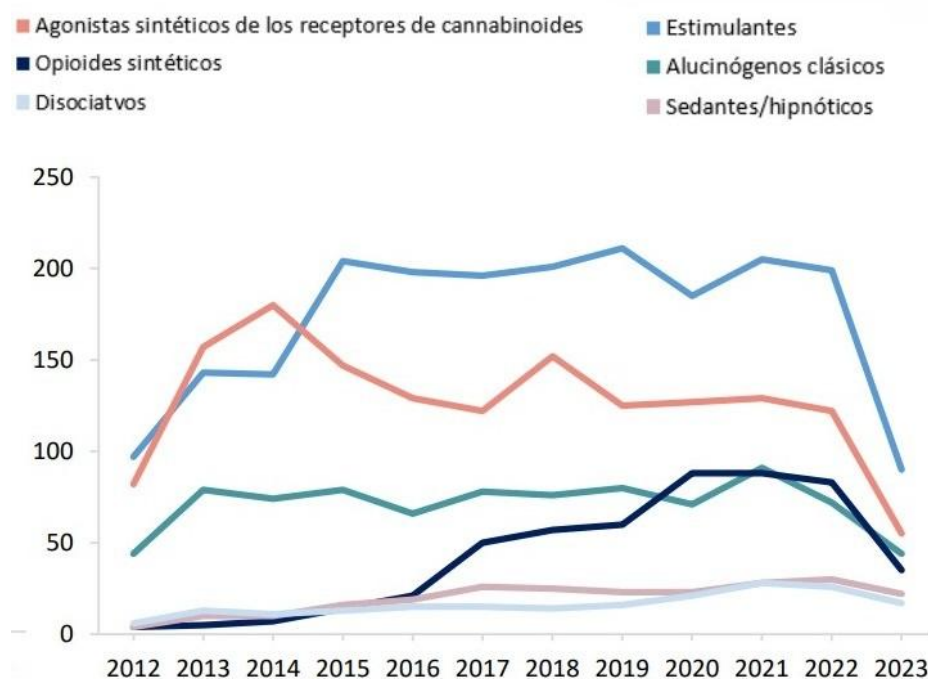


Figura 1. NSP notificadas al sistema de alerta temprana de la UNODC, por grupo de efecto farmacológico, 2012-2023. Fuente: Adaptado de UNODC (18)

En Colombia, la detección de nuevas sustancias psicoactivas (NSP) se realiza gracias al Sistema de Alertas Tempranas (SAT) del Observatorio de Drogas, que opera mediante una red múltiples instituciones conformada principalmente por el Ministerio de Justicia, la Policía Nacional, Medicina Legal, la Fiscalía, el Ministerio de Salud, el Fondo Nacional de Estupefacientes y la Universidad Nacional. Gracias a este sistema, hasta 2023 se han identificado 59 NSP pertenecientes a distintas familias químicas, siendo las feniletilaminas y las catinonas sintéticas las más frecuentes, como se muestra en la figura 2. Además, se ha reportado la aparición de nuevas variantes que no están contempladas en la normativa vigente, planteando retos importantes para el sistema judicial y forense. Dentro de las estrategias adoptadas en Colombia, están la constante actualización de los documentos de sustancias controladas, liderada por el ministerio de justicia y del derecho, así como el fortalecimiento de las herramientas para análisis con los que se deben equipar los laboratorios forenses para enfrentar el constante desafío de las tecnologías emergentes en sustancias psicoactivas (19).

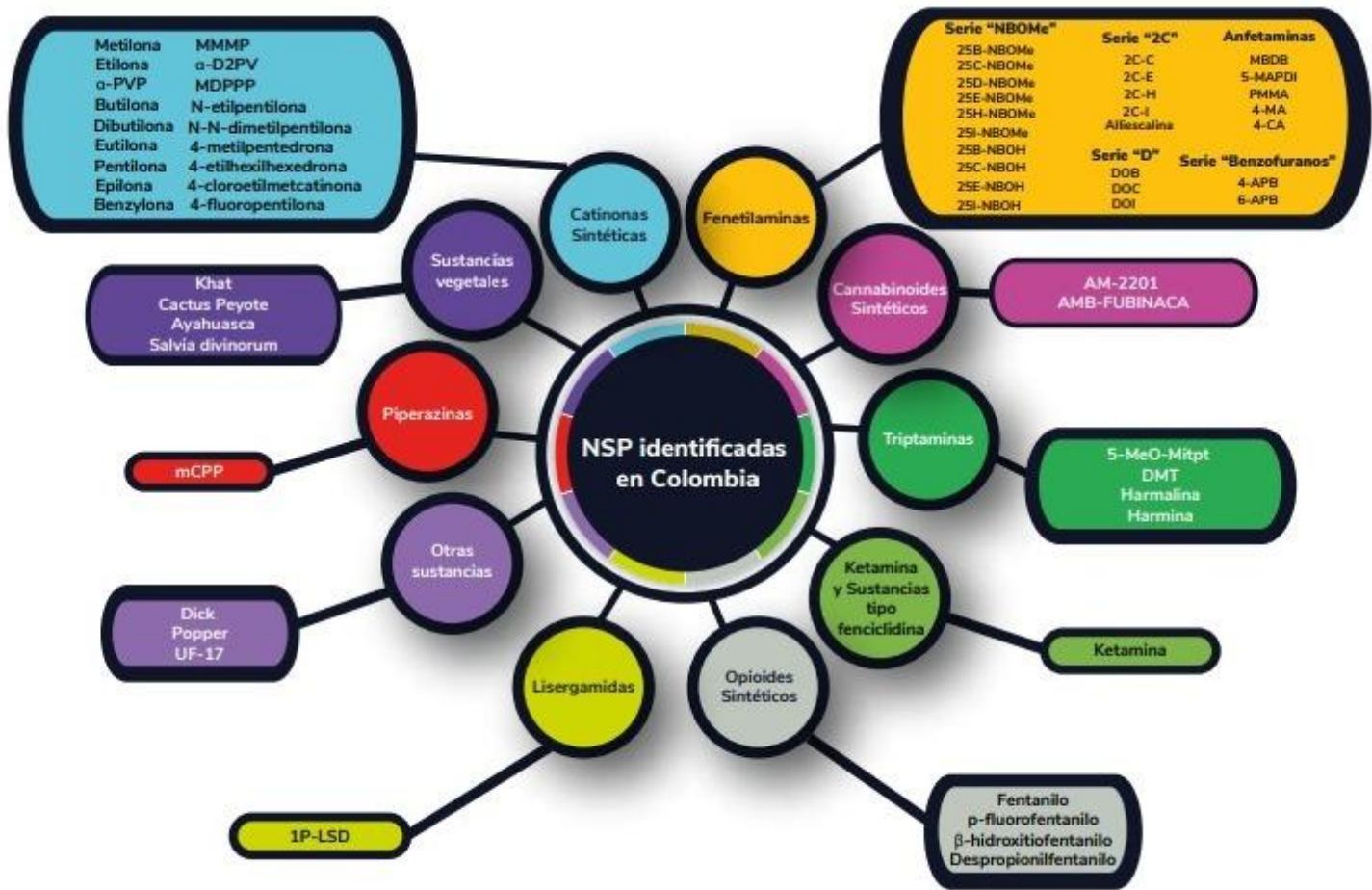


Figura 2. NSP detectadas en Colombia en el marco de actividades del Sistema de Alertas Tempranas. Fuente: Adaptado de (19).

Métodos como la espectrometría de masas de alta resolución (HRMS), mediante la tecnología Orbitrap, tiene alta eficacia para la detección de compuestos emergentes, principalmente en muestras biológicas. Ha demostrado ser muy eficaz y con una alta sensibilidad, con límites de cuantificación entre 0.5 y 5 ng/mL, con muestras de orina con derivados de anfetaminas y cationos sintéticas como la efedrina y la catina (20). Adicional a ello, hay una revolución interesante en el análisis forense a través de la predicción de compuestos por espectroscopía de masas, haciendo uso de algoritmos de aprendizaje automático. Este tipo de avances, resultan ser prometedores en la lucha contra el tráfico de NSP no reguladas (21).

1.1. Pregunta de investigación

Las NSP han venido en aumento y están evolucionado rápidamente, lo que las convierte en un desafío latente por la dificultad en su detección, éstas imitan los efectos de las drogas psicoactivas controladas en su estructura y efectos, pero dadas sus modificaciones, los métodos analíticos se quedan cortos para su identificación y caracterización, lo que pone en duda la eficacia de las metodologías actuales.

¿Cuáles son los retos y tendencias actuales de la ciencia forense para la identificación de Nuevas sustancias Psicoactivas?

1.2. Objetivos

Objetivo General: Realizar una revisión acerca de los desafíos y avances que tiene la ciencia forense en la identificación de nuevas sustancias psicoactivas, con una perspectiva en el impacto que tienen en las tecnologías analíticas vigentes.

Objetivos Específicos:

1. Identificar estudios que han explorado sobre el uso de nuevas tecnologías analíticas para la identificación de NSP.
2. Determinar las tecnologías de identificación de NSP, que son más aplicables a las ciencias forenses.
3. Comparar las ventajas y limitaciones de nuevas tecnologías de detección e identificación de NSP con los métodos forenses convencionales.

2. Metodología

Esta revisión sistemática seguirá las recomendaciones PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) con el fin de asegurar un proceso riguroso y reproducible.

2.1. Búsqueda bibliográfica y criterios de inclusión y exclusión

Se llevará a cabo una búsqueda exhaustiva de artículos publicados entre 2015 y 2025 en bases de datos electrónicas reconocidas, como PubMed, Scopus, Web of Science y ScienceDirect. Para ello, se empleará una estrategia de búsqueda basada en una combinación de términos MeSH (Medical Subject Headings) y palabras clave relacionadas con "nuevas sustancias psicoactivas", "tecnologías analíticas", "espectrometría de masas", "cromatografía" y "detección forense". Se aplicarán operadores booleanos ("AND", "OR", "NOT") con el propósito de mejorar la precisión y cobertura de la búsqueda. Asimismo, se examinarán manualmente las listas de referencias de los estudios seleccionados para identificar investigaciones adicionales relevantes.

Criterios de inclusión:

- Artículos publicados en inglés y español en el período comprendido entre 2015 y 2025.
- Estudios que analicen tecnologías analíticas aplicadas a la identificación de nuevas sustancias psicoactivas en el ámbito forense.

- Investigaciones que evalúen la precisión, sensibilidad y aplicabilidad de estas técnicas.
- Revisiones sistemáticas, estudios experimentales y reportes forenses relevantes.

Criterios de exclusión:

- Estudios sin acceso al texto completo.
- Investigaciones que no aborden directamente el uso de tecnologías analíticas en nuevas sustancias psicoactivas.
- Documentos duplicados o revisiones narrativas, editoriales y cartas al editor.

2.2. Fuentes de información

La búsqueda de artículos relevantes para la investigación se llevará a cabo en las siguientes bases de datos bibliográficas, durante el periodo de 2015 a 2025:

- Scopus
- PubMed
- Science Direct
- Google Académico
- Pubmed

2.3. Búsqueda

Tabla 2. *Matriz de términos para la búsqueda de literatura sobre nuevas sustancias psicoactivas en la identificación forense.*

N°	TÉRMINOS	MESH EQUIVALENTE
1	Nuevas sustancias psicoactivas	New Psychoactive Substances / Designer Drugs
2	Identificación forense	Forensic Identification / Forensic Sciences
3	Técnicas espectroscópicas	Spectroscopy / Spectroscopic Techniques
4	Detección de drogas sintéticas	Illicit Drugs / Drug Detection
5	Análisis toxicológico	Toxicological Analysis / Drug Testing
6	Química forense	Forensic Chemistry / Forensic Toxicology
7	Validación de métodos analíticos	Method Validation / Analytical Chemistry Techniques
8	Matrices biológicas (sangre, orina, cabello, superficies)	Biological Specimens / Biological Samples
9	Espectroscopía Raman e infrarroja	Raman Spectroscopy / Infrared Spectroscopy
10	Comparación de técnicas analíticas	Comparative Study / Method Comparison

Tabla 3. *Matriz de búsqueda para la revisión de literatura sobre nuevas sustancias psicoactivas en la identificación forense.*

N°	Términos de combinación de búsqueda (español)	Search combination terms (inglés)
-----------	--	--

1+4	Espectroscopía Raman AND Nuevas sustancias psicoactivas	Raman Spectroscopy AND New Psychoactive Substances
2+4	Espectroscopía infrarroja AND Nuevas sustancias psicoactivas	Infrared Spectroscopy AND New Psychoactive Substances
3+4	Resonancia magnética nuclear AND Nuevas sustancias psicoactivas	Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy AND New Psychoactive Substances
4+5	Nuevas sustancias psicoactivas AND Identificación forense	New Psychoactive Substances AND Forensic Identification
1+2+6	Espectroscopía Raman AND Espectroscopía infrarroja AND Química forense	Raman Spectroscopy AND Infrared Spectroscopy AND Forensic Chemistry
4+7+8	Nuevas sustancias psicoactivas AND Validación de métodos analíticos AND Matrices biológicas	New Psychoactive Substances AND Method Validation AND Biological Samples
1+4+9	Espectroscopía Raman AND Nuevas sustancias psicoactivas AND Muestras biológicas	Raman Spectroscopy AND New Psychoactive Substances AND Biological Samples
2+4+10	Espectroscopía infrarroja AND Nuevas sustancias psicoactivas AND Comparación de métodos analíticos	Infrared Spectroscopy AND New Psychoactive Substances AND Method Comparison

2.4. Gráficos

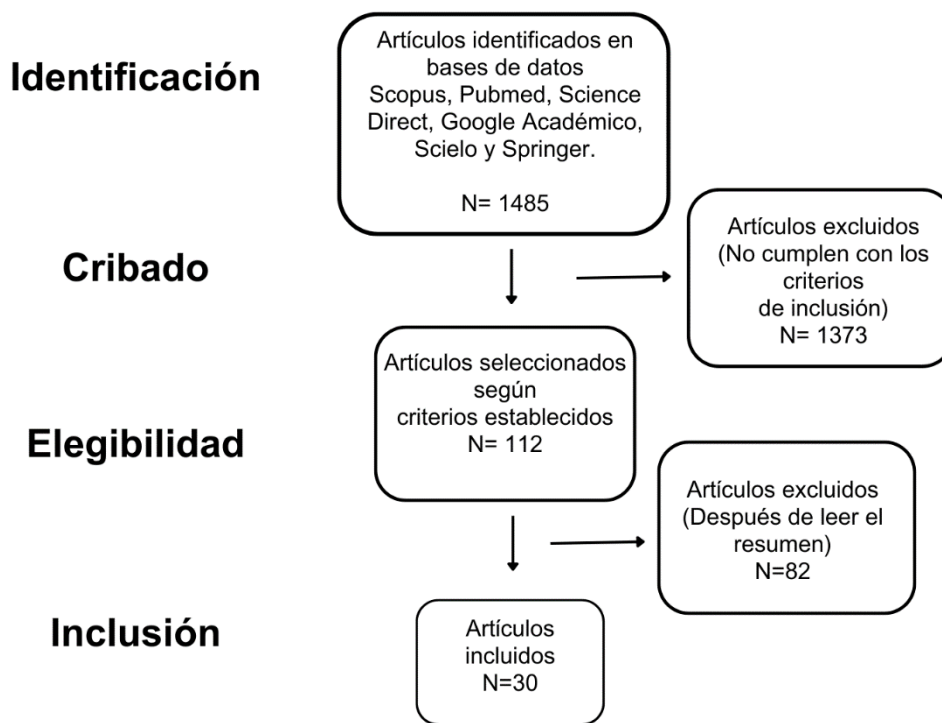


Figura 3. *Flujograma de selección de artículos en la búsqueda bibliográfica.*

2.5. Ecuación de Búsqueda

((("espectroscopía Raman" AND "nuevas sustancias psicoactivas") OR ("Raman spectroscopy" AND "new psychoactive substances")) AND (("espectroscopía infrarroja" AND "nuevas sustancias psicoactivas") OR ("infrared spectroscopy" AND "new psychoactive substances"))) AND (("resonancia magnética nuclear" AND "nuevas sustancias psicoactivas") OR ("nuclear magnetic resonance spectroscopy" AND "new psychoactive substances")) AND (("nuevas sustancias psicoactivas" AND "identificación forense") OR ("new psychoactive substances" AND "forensic identification")) AND (("espectroscopía Raman" AND "espectroscopía infrarroja" AND "química forense") OR ("Raman spectroscopy" AND "infrared spectroscopy" AND "forensic chemistry")) AND (("nuevas sustancias psicoactivas" AND "validación de métodos analíticos" AND "matrices biológicas") OR ("new psychoactive substances" AND "method validation" AND "biological samples")) AND (("espectroscopía Raman" AND "muestras biológicas") OR ("Raman spectroscopy" AND "biological samples")) AND (("espectroscopía infrarroja" AND "comparación de métodos analíticos") OR ("infrared spectroscopy" AND "method comparison")) AND (2015:2025[Fecha - Publicación])

2.6. Análisis de riesgo de sesgo

Para la evaluación del riesgo de sesgo de los estudios incluidos en esta revisión, se empleó la herramienta ROBIS (Risk of Bias in Systematic Reviews), la cual permite identificar posibles fuentes de sesgo en revisiones sistemáticas mediante un análisis estructurado y en tres fases. Esta metodología contempla la evaluación del proceso de revisión, la identificación de preocupaciones en áreas clave (selección de estudios, recolección de datos y síntesis de resultados), así como la valoración del riesgo de sesgo en la revisión en su conjunto.

3. Desarrollo y Discusión

Identificación forense de nuevas sustancias psicoactivas, con un enfoque en el impacto de las tecnologías analíticas

En las últimas dos décadas, el mercado global de drogas ilícitas ha experimentado una transformación significativa debido a la aparición masiva de NSP, conocidas en inglés como *new psychoactive substances* NPS. Como se ha mencionado previamente, estas sustancias se desarrollan con diseños químicos que las hacen similares a las drogas psicoactivas controladas en los efectos que causan en el consumidor. Éstas suelen tener efectos estimulantes y analgésicos tales como los grupos cannabinoides, opioides y alucinógenos (22). Estos compuestos son estructuralmente cambiantes y novedosos y carecen de alimentación teórica bibliográfica, lo que los convierte en sustancias “desconocidas” e impiden o dificultan su caracterización. A pesar de que existen organismos internacionales que vigilan y controlan,

tales como la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), la Agencia Europea de Sustancias y Adicciones (EMCDDA) y el Grupo de Trabajo Científico para el Análisis de Drogas Incautadas (SWGDRUG por sus siglas en inglés), y estas han trabajado en nuevas herramientas que son cada vez más específicas para lograr la identificación de dichas sustancias, así como se han desarrollado lineamientos que está dando entrada a una integración paso a paso de la información que se recolecta, contribuyendo a la estandarización de metodologías y de esta manera, poder enfrentar y sobrellevar a cabalidad el desafío contra el tráfico de sustancias ilegales y a su vez, los impactos que generan a la seguridad y a la salud pública (23-25).

El grupo SWGDRUG, mencionado previamente, ha establecido un sistema que permite la clasificación y el análisis de sustancias tanto controladas como no controladas y dentro de estas se encuentran las NSP (25). Para entrar un poco más en detalle, las NSP se categorizan en función de la estructura química que poseen y la forma en la que actúan farmacológicamente hablando, teniendo las categorías a seguir: *Estimulantes sintéticos (catinonas sintéticas), derivados de fenetilaminas y piperazinas, cannabinoides sintéticos (JWH, AB-FUBINACA y 5F-MDMB-PICA), alucinógenos sintéticos (triptaminas y derivados de NBOMe), opioides sintéticos (fentanilo, nitazeno), benzodiazepinas sintéticas (clonazolam, flubromazolam) y sustancias disociativas (metoxetamina, 3-MeO-PCP)*. Esta clasificación resulta esencial para orientar la identificación forense, establecer protocolos analíticos y apoyar las acciones regulatorias frente a la constante evolución de nuevas variantes en el mercado ilícito (25).

La base de datos y guía metodológica desarrollada por el SWGDRUG combina un sistema de clasificación sistemática con una estructura jerárquica de técnicas analíticas, orientada a fortalecer la confiabilidad de los resultados en la identificación forense de sustancias controladas y no controladas (25). Esta clasificación agrupa los métodos en tres niveles: el Nivel A comprende técnicas confirmatorias de alta especificidad, como la espectrometría de masas (MS), la espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN) y la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR); el Nivel B incluye métodos con elevada especificidad pero menor capacidad confirmatoria individual, como la cromatografía en capa fina (TLC), la cromatografía de gases con detección de ionización de llama (GC-FID) y las pruebas colorimétricas; finalmente, el Nivel C abarca observaciones físicas y propiedades organolépticas como el punto de fusión o el color. De acuerdo con las directrices del SWGDRUG, la confirmación de la identidad de una nueva sustancia psicoactiva NSP requiere, como mínimo, la aplicación de una técnica de Nivel A, complementada por al menos una técnica adicional de Nivel B o C. Todos estos complementos son muy valiosos, asegurando el éxito del análisis de nuevas estructuras con el fin de que tengan una mayor valoración en los reportes forenses, especialmente si se habla de casos de impugnaciones en temas judiciales (25). Por ello, se resalta la importancia de usar en combinación las técnicas espectroscópicas de NMR, FTIR; Raman; la espectrometría de masas con acople a cromatografía GC-MS y LC-MS/MS, con métodos de inteligencia artificial para que de esta manera haya posibilidad de tener una identificación confiable (26,27). Destacando una tendencia en el empleo de bibliotecas espectrales digitales, que son vigiladas y actualizadas en tiempo real por fuertes organismos como la UNODC y la EMCDDA. Al tener información de bases de datos a nivel mundial, es clara que la predicción, analítica, identificación y confirmación de sustancias nuevas es mucho más eficaz (23). Se debe mencionar la importancia de poder realizar estos análisis en campo, para la cual se debe contar con dispositivos portátiles como espectrómetro Raman y DART-

MS, lo que permite ahorrar tiempo en la obtención de respuestas, asegurando un correcto monitoreo por parte de organismos de control de seguridad y aduanas (28). El impacto de la identificación de las NSP es mucho más profundo que el solo hecho de hacer una caracterización de sustancias, lo cual genera aportes al mundo de la ciencia; va orientado también a las evasiones de implicaciones legales acordes a la comercialización de estas (29). Existe un organismo en Colombia encargado de la detección de estas drogas emergentes, llamado Sistema de Alertas Tempranas (SAT) perteneciente al ministerio de justicia, que ha detectado más de 59 NSP en la última década, de igual forma, son pertenecientes principalmente a los grupos de cannabinoides y de catinonas sintéticas de las que se habló previamente (24). Es claro, que se requiere de un enfoque desde múltiples disciplinas, tales como salud pública, entes regulatorios en temas de seguridad, ciencia química, forense y legislativa para que de esta manera se encuentren respuestas ante esta situación que, en lugar de disminuir, avanza y se reinventa día tras día (23).

La tabla 4, a continuación, muestra los hallazgos de más de 30 estudios científicos tras el análisis forense de NSP, con el objetivo de hacer comparaciones entre las principales técnicas analíticas usadas a nivel internacional en función de su efectividad en aplicaciones forenses y en la detección de las estas.

Tabla 4. Principales hallazgos relacionados con nuevas sustancias psicoactivas en la identificación forense

Nº	Título	Año	País	Tecnología	Resultados (Ventajas-Dificultades)	Conclusión	Referencia
1	Forensic Analysis of Synthetic Cathinones on Nanomaterials-Based Platforms: Chemometric-Assisted Voltametric and UPLC-MS/MS Investigation	2023	Rumania y Bélgica	Voltamperometría cíclica y de onda cuadrada	Se presentó un método rápido para la detección de cuatro catinonas sintéticas (alfa-pirrolidinovalerofenona, N-etilhexedrona, 4-cloroetcatinona y 3-clorometcatinona) mediante voltametría y espectrometría de masas, con buenos límites de detección para muestras confiscadas.	El método optimizado es útil en detección rápida de catinonas sintéticas. Tiene amplios rangos lineales y parámetros de validación similares a los obtenidos con otros dispositivos portátiles.	Dragan et al., 2023 (30)
2	Electrochemical detection of mephedrone using a graphene screen-printed electrode: a new sensitive and selective approach to identify synthetic cathinones in forensic analysis.	2023	No menciona	(AdSDPV)	Se presenta la detección electroquímica de Mephedrone (MEP) utilizando un electrodo impreso de grafeno (SPE-GP) con voltametría de pulso diferencial de stripping adsorbtivo (AdSDPV). La técnica mostró un amplio rango lineal para la determinación de MEP (2.6 a 112 µmol	El método propuesto con SPE-GP y AdSDPV es sensible y selectivo, permitiendo la detección preliminar de MEP y otras catinonas sintéticas en muestras confiscadas, lo que proporciona una herramienta rápida y simple para la identificación en análisis forenses.	Melo et al., 2023 (31)

					L-1) y un límite de detección (LOD) bajo (0.3 $\mu\text{mol L}^{-1}$).		
3	Rapid identification of illicit street narcotics using FTIR spectroscopy	2023	Reino Unido	(FTIR)	El uso de espectroscopía FTIR para identificar narcóticos callejeros mostró una tasa de éxito del 75% en muestras con diversas concentraciones de pureza.	FTIR es una técnica rápida y efectiva para la identificación de narcóticos en el campo, mejorando la eficiencia operativa de las agencias de la ley, con el potencial de cuantificar la pureza de las muestras	Williams et al., 2023 (32)
4	Novel application of atmospheric solids analysis probe (ASAP) for fast screening of new psychoactive substances (NPS)	2020	España	(ASAP)	Se desarrolló una metodología utilizando el swab-ASAP acoplado a un analizador de masas de triple cuadrupolo para la detección de NPS en diferentes tipos de muestras y superficies. Se identificaron compuestos hasta 1 μg de sustancia impregnada en una superficie.	El método propuesto permite la identificación rápida de NPS en diversas muestras sin necesidad de una lista previa de compuestos objetivo, mostrando alta sensibilidad y aplicabilidad para análisis de superficie.	Fabregat-Safont et al., 2020 (33)
5	Determination of new psychoactive substances and other drugs in postmortem blood and urine by UHPLC-MS/MS: Method validation and analysis of forensic samples	2022	Brasil	(UHPLC-MS/MS)	Validación exitosa para la detección de 79 NPS y otras drogas en sangre y orina; aplicado a 68 casos forenses.	El método validado es adecuado para el análisis forense de sangre y orina, y es una herramienta importante para identificar amenazas emergentes de NPS en casos de intoxicación.	Ferrari & Caldas, 2022 (34)
6	Potentiometric Detection of Synthetic Cathinones Using Ion-Selective Electrodes	2023	República Checa	(ISEs)	Se desarrollaron y evaluaron electrodos selectivos de iones (ISEs) para detectar mefedrona y cledrona en fluidos orales.	Los ISEs mostraron buena sensibilidad y selectividad para detectar cathinonas sintéticas, siendo una alternativa útil frente a métodos cromatográficos.	Pospíšilová et al., 2023 (35)
7	Performance of new nanocomposites based on graphene-grafted-poly (itaconic acid-co-TRIM) via photoiniferter, thermal vinyl functionalization, and physical mixture as electrochemical sensing platforms for illicit drug determination.	2023	Brasil	Voltametría electroquímica	Se logró la detección voltamétrica de mefedrona (4-MMC) con una curva analítica lineal (0.25 a 10.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, $R^2 = 0.99$) y un límite de detección de 0.22 $\mu\text{mol L}^{-1}$.	Los nanocomposites basados en grafeno y polímeros funcionalizados ofrecen una plataforma efectiva para la detección de 4-MMC, mostrando alta sensibilidad y selectividad, incluso en muestras de campo simuladas y orina sintética.	Prete et al., 2023 (36)

8	Validation and application of a method for the quantification of 137 drugs of abuse and new psychoactive substances in hair.	2024	Italia	(UHPLC-MS)	Desarrollo y validación de un método de cromatografía líquida de alto rendimiento con espectrometría de masas (UHPLC-MS) para la cuantificación de 137 sustancias, incluyendo 122 NPS y 15 DoA en muestras de cabello.	El método desarrollado es eficaz, rentable y aplicable a laboratorios forenses para la detección y cuantificación de NPS y DoA en cabello.	Barone et al., 2024 (37)
9	Electrochemistry of the synthetic tryptamine 5-MeO-MiPT at glassy carbon and screen-printed electrodes: a rapid and simple screening method for application in forensic analysis.	2023	Brasil	(DPAdSV)	Se desarrolló un método voltamétrico para detectar 5-MeO-MiPT en muestras forenses utilizando electrodos de carbono.	El método propuesto con electroquímica es efectivo, rápido, y selectivo para la detección de 5-MeO-MiPT en muestras de drogas confiscadas y muestras biológicas.	Melo et al., 2023 (38)
10	Voltammetric study of new psychoactive substance 3-fluorophenmetrazine.	2023	República Checa	(DPV)	Se desarrolló un método electroquímico para la detección de 3-fluorofenmetrazina (FPM) usando voltametría cíclica y de pulso diferencial (DPV).	El estudio estableció un método efectivo para determinar FPM en soluciones tampón mediante DPV, con un buen rendimiento analítico.	Jiroušková et al., 2023 (39)
11	Development and validation of an ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometric method for the determination of 25 psychoactive drugs in cerumen and its application to real postmortem samples.	2023	Grecia	(UPLC-MS/MS)	Se desarrolló y validó un método para la detección de 25 sustancias psicoactivas en cerumen. El método se mostró altamente selectivo y sensible, con un límite de detección entre 0.017 ng/mg y 0.33 ng/mg. Los resultados fueron consistentes en muestras reales de post-mortem, confirmando la sensibilidad del método.	Este estudio presenta el primer método validado para la detección simultánea de 25 drogas psicoactivas en cerumen, con aplicaciones prácticas en muestras post-mortem de personas con antecedentes de abuso de drogas.	Mastrogiani et al., 2023 (47)
12	Verificación de un método analítico para detectar simultáneamente cocaína, sus metabolitos y 17 drogas de abuso en orina por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.	2016	Colombia	(GC-MS)	El método validado demostró ser eficaz para detectar 21 de las 22 sustancias objetivo en muestras de orina, con una eficiencia cromatográfica entre 139,090 y 2,471,543 platos teóricos.	El método es adecuado para la detección simultánea de múltiples drogas de abuso en orina, aunque presenta limitaciones para la detección de ecgonina debido a su alta solubilidad en medios acuosos.	Rovira, 2016 (48)

13	Validación de un método bioanalítico para la determinación de opiáceos, opioides y sus metabolitos en muestras de interés forense, por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.	2015	Colombia	(GC-MS)	El método validado demostró ser eficaz para detectar morfina, codeína, 6-acetilmorfina y metadona en orina y sangre, con porcentajes de recuperación superiores al 56% en orina y 63% en sangre.	El método desarrollado es adecuado para la determinación de opiáceos y opioides en muestras biológicas de interés forense, mostrando buena precisión, exactitud y robustez, aunque presenta sensibilidad al pH de extracción.	Grisales & Mena, 2015 (49)
14	Deep ultraviolet Raman spectroscopic analysis of antihistamine drugs in oral fluid for forensic purposes	2025	Italia	(DUVRS)	Se detectó cetirizina (CTZ) en muestras líquidas de saliva con un límite de detección de 50 µg/mL, y se logró diferenciar entre manchas de saliva puras y contaminadas con CTZ mediante análisis estadístico multivariante.	La espectroscopía Raman ultravioleta profunda (DUVRS) es efectiva para la detección de cetirizina en fluidos orales, aunque se requieren más estudios para mejorar la aplicación forense.	Amin et al., 2025 (52)
15	Flashforward: The Current and Future Applications of Vibrational Spectroscopy for Forensic Purposes	2025	USA	(RS+FTIR+ML)	La combinación de espectroscopía vibracional con aprendizaje automático mejora la precisión y eficiencia en la identificación de drogas, residuos de disparos, y el análisis de evidencias traza.	El uso de la espectroscopía en combinación con el aprendizaje automático mejora la precisión y eficiencia en investigaciones forenses, reduciendo tiempos de respuesta.	Alpuché et al., 2025 (53)
16	Attenuated total reflection Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) analysis of human nails: Implications for age determination in forensics	2025	República Checa	(ATR FT-IR)	El modelo de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS-R) es muy preciso en la estimación de la edad, con un error cuadrático medio de predicción (RMSEP) de 11.1. El modelo de clasificación PLS-DA tiene una precisión del 88% al clasificar a los donantes en grupos de edad (jóvenes y mayores)	La espectroscopía ATR FT-IR junto al análisis multivariado, es una herramienta no destructiva. Además, es eficiente para la estimación de la edad en investigaciones forenses.	Mitu et al., 2025 (54)
17	Discrimination Between Human and Animal Blood Using Raman Spectroscopy and a Self-Reference Algorithm for Forensic Purposes: Method Expansion and Validation	2024	USA	(RS)	A través de espectroscopía Raman, se logró discriminar sangre humana de otras 18 especies no humanas. Existe una clara distinción de estas entre las bandas a 1003 y	El algoritmo de auto-referencia es útil para clasificar correctamente las muestras de sangre. Es un método sencillo y no requiere de amplios conocimientos en estadística, La espectroscopía Raman, es rápida, no	Dickler et al., 2024 (55)

					1341 cm ⁻¹ en los espectros Raman.	destruccion y precisa. Es una excelente alternativa en aplicacion forense.	
18	Raman Spectroscopy for the Time since Deposition Estimation of a Menstrual Bloodstain	2024	Polonia	(RS)	La espectroscopia Raman es util para discriminar entre manchas de sangre periferica y menstrual, Es preciso para estimar el tiempo desde la deposicion de la sangre menstrual, con patrones de envejecimiento similares a los de la sangre periferica.	Aunque los resultados son buenos para estandarizar la determinacion de la edad de las manchas de sangre, se requiere mas profundidad, con una mayor cantidad de donantes antes de que esta tecnica pueda implementarse completamente en la ciencia forense.	Weber et al., 2024 (56)
19	Laser-based infrared sensor for fast and non-contact detection and identification of forensic traces in crime scene investigations	2024	USA	(IR-QCL)	Con un sensor basado en laser de cascada cuantica (QC-L), se detecta rapidamente una amplia gama de muestras forenses, como explosivos, drogas y rastros biologicos (sangre). La velocidad de escaneo espectral es del orden de los kilohertz.	Gracias a la velocidad de deteccion, resulta util para mejorar la seguridad in situ, permitiendo la identificacion inmediata de sustancias.	Haertelt et al., 2024 (57)
20	Miniaturized Near-Infrared spectrophotometers in forensic analytical science – a critical review	2024	Brasil	(NIR)	Los instrumentos NIR miniaturizados permiten analisis rapidos y en campo, con resultados cualitativos y cuantitativos precisos y de forma practica.	Los dispositivos compactos de NIR, permiten hacer analisis in situ, mejorando la eficiencia en las investigaciones. Son faciles de usar para las fuerzas de seguridad o entes regulatorios sin mayor capacitacion.	Foli et al., 2024 (58)
21	Impurities, adulterants and cutting agents in cocaine as potential candidates for retrospective mining of GC-MS data	2022	Países Bajos	(GC-MS)	Con este metodo, se identificaron impurezas y adulterantes en las muestras de cocaína, además del propio compuesto, que daba más informacion logrando identificar posibles conexiones con otras muestras.	A través de la optimizacion del metodo de GC-MS, se puede alimentar la informacion de analisis forenses rutinarios eficientemente, ofreciendo más detalles sobre el mercado de drogas como la cocaína, que ayudaría en investigaciones futuras sin sacrificar los procesos actuales.	Laposchan et al., 2022 (59)

22	Rapid and simple procedure for the determination of cathinones, amphetamine-like stimulants and other new psychoactive substances in blood and urine by GC-MS	2018	Italia	(GC-MS)	Se desarrolló un método rápido y de alto rendimiento para la determinación de diferentes clases de estimulantes (anfetamina, catinonas, fenetilaminas y análogos de ketamina) en muestras biológicas utilizando GC-MS. El método permitió la separación de 26 estimulantes, incluyendo isómeros posicionales, con límites de detección y cuantificación satisfactorios.	El método propuesto es eficiente, económico y adecuado para la detección y cuantificación de una amplia gama de estimulantes en sangre y orina, lo que lo hace adecuado para el análisis forense de sustancias psicoactivas en muestras biológicas.	Mercieca et al., 2018 (60)
23	Development of new methods of detection and quantification of controlled and new psychoactive substances (NPS) using liquid chromatography-amperometric detection (LC-AD)	2018	USA	(EC+HPLC-UV+HPLC-AD)	Se desarrolló un protocolo de detección simultánea de HPLC-UV y amperometría (HPLC-AD) para la detección y análisis cuantitativo de nuevas sustancias psicoactivas (NPS), mostrando mejoras en la discriminación selectiva entre compuestos estructuralmente relacionados, como catinonas sintéticas. La plataforma de sensores es rentable, reproducible y confiable.	El sistema HPLC-AD es adecuado para la detección y cuantificación de NPS en su forma pura o en mezclas complejas, superando métodos electroanalíticos previos en términos de selectividad y precisión. Aunque menos sensible que HPLC-UV, demuestra ser una alternativa eficaz y accesible para la detección forense de NPS.	Zuway, 2018 (61)
24	Separation of ortho, meta and para isomers of methylmethcathinone (MMC) and methylethcathinone (MEC) using LC-ESI-MS/MS: Application to forensic serum samples	2017	Alemania	(LC-MS/MS)	Se desarrolló un método LC-MS/MS sensible y selectivo para separar isómeros orto, meta y para de metilmethcathinona (MMC) y metilethcathinona (MEC), logrando límites de detección y cuantificación adecuados (LLOQ = 5 ng/ml, LOD < 2 ng/ml). Se detectaron casos de consumo reciente de MMC o MEC en muestras de suero reales, identificando isómeros como 3-	Por medio de LC-MS/MS, se hace una cuantificación eficiente de isómeros de MMC y MEC en muestras biológicas. Es muy útil en ciencias forenses para la identificación de NSP.	Maas et al., 2017 (62)

					MMC y 3-MEC, pero no 4-MMC, 2-MEC ni 4-MEC.		
25	Source identification of heroin by rapid detection of organic impurities using direct analysis in real time with high-resolution mass spectrometry and multivariate statistical analysis	2019	China	(DART-HRMS+PLS-DA+OPLS-DA)	Aplicando espectrometría de masas de alta resolución (DART-HRMS) y análisis estadístico multivariado (PLS-DA, OPLS-DA), con análisis en tiempo real, se identificaron muestras de heroína incautadas en China, además de impurezas orgánicas. El método OPLS-DA permitió discriminar estas muestras de diferentes orígenes.	El método DART-HRMS acoplado con análisis estadístico, es útil, rápido y muy preciso para la identificación de heroína. Dando la posibilidad de conocer su procedencia.	Cui et al., 2019 (63)
26	Electrochemiluminescence sensors and forensic investigations: a viable technique for drug detection?	2022	Reino Unido	(ECL)	Por medio de métodos electroquímicos de análisis para la detección de NPS, se evidencia un excelente desempeño en diversas matrices como bebidas, material herbal y fluidos biológicos. Los sensores son portátiles y de bajos costos, son de materiales flexibles y resistentes, y fáciles de usar, complementando con sensores de ECL (electroquimioluminiscencia), mejorando la detección de NPS.	Los métodos electroquímicos, permiten portabilidad, practicidad, robustez, respuesta rápida, precisa y eficiente, especialmente los basados en electroquimioluminiscencia, superando las limitaciones de los métodos tradicionales.	Brown & Dennany, 2022 (64)
27	Synthetic Cathinones' Comprehensive Screening and Classification by Voltammetric and Chemometric Analyses: A Powerful Method for On-Site Forensic Applications	2024	Brasil	(DPV-BDDE+LC-MS+PCA+HCA)	Se desarrolló un método electroquímico usando voltamperometría diferencial de pulsos (DPV) sobre un electrodo dopado con diamante (BDDE) para detectar 15 sustancias catinonas sintéticas (SCs), mostrando perfiles electroquímicos distintivos. El método fue optimizado, con alta selectividad y sensibilidad, logrando un límite de detección	El método DPV-BDDE ofrece una forma rápida, robusta y portátil para la detección selectiva de SCs, superando a las pruebas colorimétricas tradicionales, y es prometedor para su aplicación en el ámbito forense.	Lima et al., 2024 (65)

					de 3.8 $\mu\text{mol L}^{-1}$. La identificación preliminar en 46 muestras reales fue validada mediante cromatografía líquida-espectrometría de masas (LC-MS).		
28	Electrochemical detection of the synthetic cathinone 3,4-methylenedioxypropylamphetamine using carbon screen-printed electrodes: A fast, simple and sensitive screening method for forensic samples	2020	Portugal	(AdSDPV+CV+SPE-GR)	Se desarrolló por primera vez un método electroquímico para detectar MDPV utilizando voltametría de pulso diferencial con adsorción (AdSDPV) en un electrodo de carbono impreso (SPE-Gr), logrando un límite de detección de 0.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ con alta estabilidad y baja variabilidad (RSD < 1.6%).	El método propuesto es simple, rápido y económico, con gran potencial como técnica de cribado en análisis forense de MDPV en muestras incautadas.	Lima et al., 2020 (66)
29	Identification of synthetic cathinones in seized materials: A review of analytical strategies applied in forensic chemistry	2022	Brasil	(MS+IR)	Los catinonas sintéticos se detectan en diversos tipos de muestras incautadas mediante técnicas tradicionales (como cromatografía, espectroscopía IR y Raman) y emergentes (como RMN y DART-MS), cada una con ventajas y limitaciones.	Se recomienda combinar varias técnicas analíticas para una identificación precisa, especialmente frente a catinonas sintéticas desconocidas.	De Campos et al., 2022 (67)
30	Electrochemical Sensing of Cannabinoids in Biofluids: A Noninvasive Tool for Drug Detection	2020	Canada	Sensado electroquímico	Se revisaron métodos de detección de cannabinoides en fluidos corporales, destacando la electroquímica como opción portátil, económica y sensible. Los sensores más avanzados detectan hasta 3.3 pg/mL de Δ^9 -THC con inmunosensores electroquímicos.	La electroquímica es prometedora para detección rápida y en campo de cannabinoides. Futuras mejoras deben centrarse en selectividad, sensores portables integrados y detección múltiple con materiales biocompatibles.	Klimuntowski et al., 2020 (68)

PLS: (Partial Least Squares) - Mínimos Cuadrados Parciales, **OPLS:** (Orthogonal Partial Least Squares) - Mínimos Cuadrados Parciales Ortogonales, **PCA:** (Principal Component Analysis) - Análisis de Componentes Principales, **EIS:** (Electrochemical Impedance Spectroscopy) - Espectroscopía de Impedancia Electroquímica, **CV:** (Cyclic Voltammetry) - Voltametría Cíclica, **SWV:** (Square Wave Voltammetry) - Voltametría de Onda Cuadrada, **SERS:** (Surface Enhanced Raman Spectroscopy) - Espectroscopía Raman Mejorada por Superficie, **FTIR:**

(Fourier Transform Infrared Spectroscopy) - Espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier, **NIR:** (Near Infrared Spectroscopy) - Espectroscopía en el Infrarrojo Cercano, **HPLC:** (High-Performance Liquid Chromatography) - Cromatografía Líquida de Alta Resolución, **UHPLC:** (Ultra High Performance Liquid Chromatography) - Cromatografía Líquida de Ultra Alta Resolución, **GC-MS:** (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) - Cromatografía de Gases y Espectrometría de Masas, **MALDI-TOF:** (Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization Time of Flight) - Ionización por Desorción Láser Asistida por Matriz y Espectrometría de Tiempo de Vuelo, **HESI:** (Heated Electrospray Ionization) - Ionización por Electrospray Calefaccionada, **LOD:** (Limit of Detection) - Límite de Detección, **LOQ:** (Limit of Quantification) - Límite de Cuantificación, **QTOF:** (Quadrupole Time of Flight) - Cuadripolo Tiempo de Vuelo, **LC-MS:** (Liquid Chromatography-Mass Spectrometry) - Cromatografía Líquida y Espectrometría de Masas, **ESI:** (Electrospray Ionization) - Ionización por Electrospray, **TGA:** (Thermogravimetric Analysis) - Análisis Termogravimétrico, **XPS:** (X-ray Photoelectron Spectroscopy) - Espectroscopía de Fotoelectrones de Rayos X, **AES:** (Atomic Emission Spectroscopy) - Espectroscopía de Emisión Atómica, **XRD:** (X-ray Diffraction) - Difracción de Rayos X, **RDS:** (Response Surface Methodology) - Metodología de Superficie de Respuesta.

Uso de nuevas tecnologías analíticas para la identificación de NSP

La creciente diversificación química de las nuevas sustancias psicoactivas NSP plantea un desafío crítico para los laboratorios forenses y de toxicología clínica en todo el mundo. Se ha observado un auge en el desarrollo de nuevas tecnologías analíticas orientadas a mejorar la identificación, cuantificación y caracterización de estas sustancias emergentes. Ante ello, se ha hecho necesaria la implementación de métodos integrados y más selectivos como electroquímica y espectroscopía con inteligencia artificial (40).

Es importante citar las técnicas espectroscópicas avanzadas que han tenido mejores resultados en esta identificación como son la espectroscopía Raman, la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) y, la espectroscopía Raman mejorada por superficie (SERS), la precisión de estas técnicas permite hacer identificaciones a muy bajas concentraciones, con matrices complejas y en sustancias desconocidas. De igual forma, no se deja de lado la necesidad de hacer análisis en campo, por lo que se requiere portabilidad, además de que es importante que estos análisis lo puedan realizar personas sin requerir mayor capacitación, orientado a su realización en campo (41). La cromatografía líquida ultraeficiente acoplada a espectrometría de masas en tándem (UHPLC-MS/MS) y la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), han contribuido notablemente a la identificación de sustancias. Algunas de estas técnicas permiten elucidar las estructuras, permitiendo un análisis de fragmentos más efectivo. Por su parte, la espectrometría de masas de alta resolución (HRMS) permite realizar análisis teniendo en cuenta datos previamente obtenidos (42). El uso de sensores electroquímicos, así como las plataformas basadas en nanomateriales, electrodos de grafeno y puntos cuánticos, tienen alta sensibilidad, con límites de detección muy bajos, del orden de 0.608 pg/mL y son técnicas económicas y prácticas (43).

Otros modelos, como la máquina de soporte vectorial y el bosque de cascada multigranular, se han empleado para hacer análisis de datos en masa. Han demostrado ser muy efectivos, pues

han obtenido buenas puntuaciones (F1 de 0,35 a 0,97) en validaciones de interpolación o validación cruzada en análisis de cannabinoides, catinonas y fentanilo (44).

Una gran dificultad ante estas emergentes apariciones se ve muy marcada en aquellos lugares en donde el acceso a tecnología tanto de análisis como para fuentes de consulta es limitado, generando baja capacidad de respuesta ante esta situación. Por ello, se resalta a lo largo de este informe, la necesidad de fortalecer la información que se reporta en bases de datos, para lo que se requiere de colaboración internacional, lo cual mejoraría significativamente la eficiencia de la identificación de las NSP (46).

La tabla 5, muestra diferentes tecnologías analíticas y sus aplicaciones, resumiendo sus principales características, además de detallar la variación de los resultados y sus límites de detección.

Tabla 5. Aplicaciones de tecnologías analíticas emergentes en la identificación de NSP

Tecnología Analítica	Descripción	Aplicación Principal	Coefficiente de variación	Límite de detección	Referencia
Voltamperometría cíclica y de onda cuadrada	Utiliza la variación de la corriente en respuesta a un voltaje aplicado para caracterizar las propiedades electroquímicas de las catinonas sintéticas.	Detección de catinonas sintéticas en muestras confiscadas	PLS model: R ² entre 0.84 y 0.98 para la mayor parte de las variables estudiadas. OPLS model: R ² Y(cum) 0.66, Q ² (cum) 0.61.	PVP: 1.67 µM NEH: 16.67 µM 4CEC: 8.33 µM 3CMC: 25 µM	Dragan et al., 2023 (30)
(AdSDPV)	Uso de un electrodo impreso de grafeno (SPE-GP) con voltametría de pulso diferencial de stripping adsorbtivo (AdSDPV) para la detección de Mephedrone.	Análisis forenses de Mephedrone y otras cathinonas sintéticas en muestras confiscadas	RSD (desviación estándar relativa) < 5.0% para ambos procesos redox.	0.3 µmol L ⁻¹ .	Melo et al., 2023 (31)
(FTIR)	Espectroscopía FTIR (Infrarrojo por Transformada de Fourier) utilizando accesorios ATR para análisis rápido de narcóticos.	Identificación rápida de narcóticos en el campo para las fuerzas de seguridad.	No especificado	4.4% para la identificación de MDMA en tabletas.	Williams et al., 2023 (32)
(ASAP)	La Sonda de Análisis de Sólidos Atmosféricos (ASAP) con analizador de masas, incluyendo muestras de	Análisis forense de sustancias psicoactivas en muestras de investigación y mezclas herbales, así como en	No especificado	Hasta 1 µg de compuesto impregnado en superficies.	Fabregat-Safont et al., 2020 (33)

	superficie y contacto humano.	superficies y contacto en dedos.			
(UHPLC-MS/MS)	Extracción de sangre/orina seguida de análisis mediante ultra-high performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry.	Detección y cuantificación de NPS y otras drogas en fluidos biológicos (sangre y orina).	No especificado	Entre 0.4 y 16 ng/mL.	Ferrari & Caldas, 2022 (34)
(ISEs).	Uso de membranas basadas en intercambiadores catiónicos y transportadores neutrales para detectar cathinonas mediante cambios de potencial.	Detección forense de nuevas sustancias psicoactivas (cathinonas) en fluidos orales.	No especificado	Desde $\sim 9,9 \times 10^{-7}$ mol/L (para mefedrona con TPBNa) hasta $\sim 2,4 \times 10^{-5}$ mol/L (con DB18C6 y calix[4]arene).	Pospišilová et al., 2023 (35)
Voltametría electroquímica	Utiliza nanocomposites de grafeno-grafeno reducido (GO y rGO) modificados con polímeros (itaconico-co-TRIM) para la detección voltamétrica de 4-MMC.	Detección de drogas ilícitas como mefedrona (4-MMC).	No especificado	0.22 μ mol L ⁻¹ para 4-MMC.	Prete et al., 2023 (36)
(UHPLC-MS)	Técnica analítica que combina la separación de compuestos mediante cromatografía líquida y su posterior identificación y cuantificación mediante espectrometría de masas.	Detección y cuantificación de múltiples sustancias psicoactivas y drogas de abuso en muestras de cabello.	No especificado	El límite de cuantificación (LOQ) fue de 4 pg/mg para la mayoría de los compuestos, con 6 compuestos a 10 pg/mg y 2 compuestos a 40 pg/mg.	Barone et al., 2024 (37)
(DPAdSV)	Técnica electroquímica para la detección de 5-MeO-MiPT mediante un proceso de oxidación irreversible controlado por adsorción en electrodos de carbono.	Detección de 5-MeO-MiPT en muestras forenses y biológicas.	Menos del 4.0%.	0.015 μ mol L ⁻¹ .	Melo et al., 2023 (38)

(DPV)	Técnica electroquímica utilizada para estudiar la oxidación de 3-fluorofenmetrazina (FPM) en soluciones tampón mediante un electrodo de carbono vítreo.	Detección y cuantificación de 3-fluorofenmetrazina en soluciones acuosas.	No especificado	4.7 $\mu\text{mol/L}$ en tampón fosfato a pH 9.	Jiroušková et al., 2023 (39)
(UPLC-MS/MS)	La técnica consiste en un sistema SCIEX Triple Quad 6500+ utilizado para realizar análisis de UPLC-MS/MS tras la extracción líquida-líquida. Se utilizó metanol con 1% de ácido acético como disolvente de extracción. Después de la adición del disolvente, las muestras se sometieron a vórtice, sonicación, centrifugación y luego se inyectaron directamente en el sistema UPLC-MS/MS.	Determinación de drogas psicoactivas en cerumen, con un enfoque en aplicaciones forenses y postmortem.	La precisión intraensayo fue entre 4.34 y 14.6%, y la precisión interensayo fue entre 5.81 y 17.7%.	0.017 ng–0.33 ng/mg	Mastrogianni et al., 2023 (47)
(GC-MS)	Se utilizó extracción líquido-líquido con diclorometano como solvente y estazolam como estándar interno, seguida de análisis mediante GC-MS.	Detección cualitativa de cocaína, sus metabolitos y drogas de abuso en muestras de orina para fines forenses.	No especificado	No especificado	Rovira, 2016 (48)
(GC-MS)	Se emplearon procedimientos de extracción líquido-líquido y en fase sólida, seguidos de derivatización con BSTFA+TMCS y análisis mediante GC-MS en modo SIM.	Detección de opiáceos, opioides y sus metabolitos en muestras de orina y sangre para casos forenses relacionados con intoxicaciones, muertes en estudio y embriaguez no alcohólica.	Inferiores al 24% para todos los analitos evaluados	No especificado	Grisales & Mena, 2015

PLS: (Partial Least Squares) - Mínimos Cuadrados Parciales, **OPLS:** (Orthogonal Partial Least Squares) - Mínimos Cuadrados Parciales Ortogonales, **RSD:** (Relative Standard Deviation) - Desviación Estándar Relativa, **FTIR:** (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) - Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier, **ASAP:** (Atmospheric Solids Analysis Probe) - Sonda de Análisis de Sólidos Atmosféricos, **UHPLC-MS/MS:** (Ultra-High Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry) - Cromatografía Líquida de Ultra Alto Rendimiento-Espectrometría de Masas en Tandem, **ISEs:** (Ion Selective Electrodes) - Electroodos Selectivos de Iones, **DPAdSV:** (Differential Pulse Adsorptive Stripping Voltammetry) - Voltametría de Desprendimiento Adsorptivo por Pulso Diferencial, **DPV:** (Differential Pulse Voltammetry) - Voltametría de Pulso Diferencial, **UPLC-MS/MS:** (Ultra Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry) - Cromatografía Líquida de Alto Rendimiento-Espectrometría de Masas en Tandem, **GC-MS:** (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) - Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas.

Dentro de las evoluciones analíticas ya mencionadas para la caracterización de NSP, hay algunas técnicas que se resaltan y se diferencian de las demás por su notable sensibilidad en la cuantificación y en su velocidad de respuesta: La *Voltamperometría cíclica*, por su parte, se ha empleado para evaluar las propiedades de las drogas catinonas sintéticas a través de su función electroquímicas, tales como la NEH, 4CEC y 3CMC. Esta técnica se resalta porque los resultados que se obtienen cuentan con coeficientes de correlación (R^2) muy adecuados cuando se busca precisión y confiabilidad, Dragan et al. (2023), reportó resultados de R^2 entre 0,84 y 0,98, y se encontraron límites de detección entre 1.67 y 25 μM a concentraciones muy bajas (30).

La *Voltamperometría de pulso diferencial de stripping adsorptivo (AdSDPV)*, ha sido útil en la detección de Mefedrona y algunas catinonas sintéticas empleando electrodos de grafeno. A través de un estudio realizado por Melo et al. (2023), se demostró la precisión de este método analítico, dado que la desviación estándar era inferior al 5.0% en procesos de oxido reducción. Así, también se encontraron límites de detección del orden de 0.3 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Se hace importante este método dada la dificultad en la identificación de la Mefedrona, puesto que, se trata de una droga con usos recreativos que tiene efectos estimulantes similares a los de las anfetaminas y la cocaína y normalmente no se identifica si no hasta la muerte del paciente (31). Esta metodología no requiere pasos de extracción, ni de separación, lo que la hace más ágil y mucho más eficientes para las aplicaciones forenses.

La *espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)*, complementada con técnicas de Reflectancia Total Atenuada (ATR), ha sido muy útil para el análisis en campo, es una gran alternativa de análisis para los organismos de control porque no requiere preparación de la muestra y es ideal para identificar grupos funcionales sólidos, líquidos, en forma de películas y fibras, entre muchos otros materiales, haciéndola muy versátil y fácilmente aplicable (32), además de poder obtener respuesta rápida y de ser una técnica no destructiva. Williams et al. (2023), resaltó que esta técnica cuenta con una precisión del 4.4% para el análisis de éxtasis o MDMA que se presenta en tabletas generalmente, pero también puede presentarse en forma de cristal o polvo.

La *Sonda de Análisis de Sólidos Atmosféricos (ASAP)*, es otra tecnología eficiente en la detección de NSP en superficies y contacto humano, tiene la posibilidad de detectar mínimas

cantidades de compuesto, que según indica Fabregat-Safont et al. (2020) puede detectar hasta 1 µg en superficies (33), es decir, que no requiere grandes cantidades de muestra para obtener resultados confiables.

La *cromatografía líquida de ultra alto rendimiento acoplada a masas (UHPLC-MS/MS)*, es fácilmente aplicable en fluidos corporales como sangre y orina. Esta técnica no solo tiene enfoque clínico, si no también, es importante para identificación cuando tiene lugar intoxicación por exceso de consumo; según Ferrari & Caldas (2022), se logran detecciones con concentraciones entre 0.4 y 16 ng/mL (34), es decir, que es muy sensible y útil en análisis antemortem y postmortem en muestras de etilona, eutilona y N-etilpetilona que son catinonas sencillas pero muy recientes en los casos presentados de abuso de drogas (34).

Por otro lado, los *Electrodos de iones selectivos (ISEs)* ha tenido una buena acogida cuando se requiere el análisis de fluidos orales, principalmente enfocado en la detección de grupos de catinonas. Indica Pospíšilová et al. (2023), que esta tecnología emplea membranas basadas en intercambiadores catiónicos y transportadores neutrales, mostrando límites de detección que oscilan desde $\sim 9.9 \times 10^{-7}$ mol/L hasta $\sim 2.4 \times 10^{-5}$ mol/L, dependiendo del compuesto específico (35).

Finalmente, la *Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS)*, ha sido muy útil en la caracterización de la cocaína, analizadas en muestras de orina. Rovira et al. (2016), demostró su efectividad aplicando el análisis incluso en los metabolitos de cocaína y otras drogas que tienden a ser utilizadas en exceso. Se trata de una analítica sensible y muy precisa, pero presenta la dificultad de requerir pasos y procedimientos adicionales para el tratamiento de la muestra incluyendo extracción y derivatización (48). Por medio de esta misma técnica, Grisales & Mena (2015) realizaron análisis tanto en orina como en sangre, resaltando resultados excepcionales en la precisión tras estudiar opiáceos y opioides (49).

Los avances y la evolución de las técnicas analíticas ya mencionadas resultan ser muy útiles en la determinación y caracterización de sustancias desconocidas, y más aún si se integran diferentes técnicas de análisis entre sí, recombinando y potencializando sus atributos de sensibilidad, rapidez y precisión para la identificación de las NSP. Estos avances prometen estar a la vanguardia para continuar con la lucha contra los desafíos que plantean los nuevos desarrollos de estas sustancias. Dentro de la revisión, se destaca el uso de la *Cromatografía líquida de ultra alto rendimiento acoplado a masas (UHPLC-MS/MS)* por su diferencial notable en temas de precisión y la sensibilidad que ha demostrado tener. Los límites de detección se encuentran entre 0.017 ng/mg y 0.33 ng/mg en muestras de cerumen; haciéndolo aplicable en análisis forense y post-mortem principalmente. La literatura ha arrojado resultados entre 4,34% y 14,6% de repetibilidad, y una reproducibilidad en un rango de 5.81% y 17,7% ubicándose muy bien para análisis forenses de rigor. En contraste, otras técnicas como la voltamperometría cíclica y de onda cuadrada y el uso de electrodo impreso de grafeno presentan un coeficiente de variación más alto en algunos casos, con una precisión relativa estándar (RSD) que es inferior al 5%, pero con límites de detección más altos. A pesar de ser técnicas rápidas y eficaces, su sensibilidad no se compara con la capacidad de detección de sustancias en concentraciones extremadamente bajas que permite la UHPLC-MS/MS, haciéndola extremadamente sensible a cantidades muy bajas (30-49) ésta permite la separación y caracterización de compuestos en matrices de alta complejidad (50). Por su parte, la

Espectroscopía Raman mejorada por superficie (SERS) ha resultado ser excelente por requerir cantidades y concentraciones muy bajas de sustancia para la identificación y se puede usar fácilmente en campo (51).

En la tabla 6, se resumen las tecnologías previamente enunciadas para la caracterización de NSP, donde se nombran las principales características, sus avances y algunas aplicaciones donde han sido útiles.

Tabla 6. Tecnologías analíticas innovadoras para la identificación de NSP

Tecnología Innovadora	Principales Características	Avances sobre Métodos Anteriores	Ejemplos de Aplicación en NSP	Referencias
Técnicas espectroscópicas				
(AdSDPV)	Electrodo impreso de grafeno (SPE-GP), por medio de la técnica AdSDPV para la caracterización de Mefedrona, que tiene una alta sensibilidad y selectividad para este compuesto. Se comporta bien en un amplio rango de concentraciones (2.6 a 112 $\mu\text{mol L}^{-1}$).	Mejor sensibilidad con un LOD más bajo (0.3 $\mu\text{mol L}^{-1}$) en comparación con otros métodos electroquímicos previos, No se requiere un paso de extracción o separación previo, Mejor selectividad frente a interferencias de otros fármacos ilícitos y adulterantes comunes (como la cafeína).	Detección preliminar de Mephedrone en muestras confiscadas para investigaciones forenses.	Melo et al., 2023 (31)
(FTIR)	Identificación rápida y precisa mediante coincidencia de espectros con bibliotecas, usando análisis residual para eliminar interferencias de adulterantes.	Mejora la identificación al eliminar señales de adulterantes, aumentando la fiabilidad en muestras mezcladas.	Identificación de narcóticos y sus adulterantes, como la cafeína y el paracetamol, en muestras de heroína y cocaína.	Williams et al., 2023 (32)
(DUVRS)	Detección rápida y no destructiva, capaz de diferenciar entre muestras puras y contaminadas con cetirizina.	Mejora la sensibilidad y rapidez en comparación con métodos tradicionales de análisis de drogas en fluidos corporales.	Detección de cetirizina en fluidos orales como evidencia forense.	Amin et al., 2025 (52)
Raman + ML	Análisis preciso y rápido de una variedad de evidencias forenses como documentos, residuos de disparos, tejidos, y fluidos biológicos.	Mejora la velocidad y la precisión en comparación con técnicas tradicionales, y permite la identificación de información adicional como el perfil fenotípico del donante de una mancha.	Identificación de residuos de disparos, análisis de fluidos biológicos (serología forense) y análisis de evidencias traza como cabello y tejidos.	Alpuché et al., 2025 (53)
(PLS-R y PLS-DA)	Técnica no destructiva, utiliza muestras de uñas para estimación de edad, alta precisión en la	Mejora en la precisión y no requiere destrucción de la muestra (a diferencia de técnicas invasivas previas).	Estimación de la edad de donantes en investigaciones forenses.	Mitu et al., 2025 (54)

	clasificación de grupos de edad.			
Técnicas cromatográficas (frecuentemente acopladas a espectrometría de masas)				
(UHPLC-MS/MS)	Capacidad para analizar múltiples compuestos (79 sustancias), alta sensibilidad, y aplicabilidad en sangre y orina forense.	Mejor recuperación, mejor limpieza de muestras, mayor sensibilidad y rapidez en el análisis comparado con métodos tradicionales.	Detección de ethylone, eutylone y N-ethylpentylone en muestras postmortem y antemortem.	Ferrari & Caldas, 2022 (34)
(UHPLC-MS)	Método multi-análisis de alta sensibilidad para 137 compuestos, fácil de aplicar, y de bajo costo para la cuantificación de NPS y DoA.	Capacidad para detectar y cuantificar un panel más amplio de 137 compuestos, en comparación con métodos previos más limitados.	Ketamina, norketamina, 5-MMPA, metoxiacetil fentanilo, metilona y RCS-4.	Barone et al., 2024 (37)
(UPLC-MS/MS)	El método desarrollado es altamente selectivo y sensible, permitiendo el análisis de cerumen en muestras post-mortem. Su validación rigurosa asegura precisión y exactitud, mientras que no se observó efecto significativo de la matriz ni arrastre de la muestra, lo que refuerza su fiabilidad para la detección simultánea de sustancias psicoactivas.	Este método ofrece una detección simultánea de 25 drogas en cerumen, lo que no se había logrado en investigaciones previas. Además, la técnica es más precisa y tiene un límite de detección significativamente bajo.	Aunque el artículo no se centra específicamente en NSP, la técnica podría adaptarse a la detección de nuevas sustancias psicoactivas (NSP) en muestras post-mortem, lo cual es relevante para investigaciones forenses de abuso de drogas.	Mastrogianni et al., 2023 (47)
(GC-MS)	El método es selectivo, preciso y reproducible, con una duración de corrida cromatográfica de 40 minutos, aunque presenta limitaciones para ciertas sustancias como la ecgonina.	Permite la detección simultánea de una amplia gama de drogas de abuso en una sola corrida analítica, mejorando la eficiencia en el análisis forense.	Aunque el estudio se centra en drogas de abuso tradicionales, la metodología podría adaptarse para la detección de nuevas sustancias psicoactivas (NSP) en orina.	Rovira, 2016 (48)
(GC-MS)	Método selectivo, sensible y confiable para la determinación de opiáceos y opioides en muestras de orina y sangre, con buena recuperación y precisión, aunque sensible a variaciones en el pH de extracción.	Permite la detección simultánea de múltiples opiáceos y opioides en una sola corrida analítica, mejorando la eficiencia y reduciendo el tiempo de análisis en comparación con métodos que analizan cada sustancia por separado.	Aunque el estudio se centra en opiáceos y opioides tradicionales, la metodología podría adaptarse para la detección de nuevas sustancias psicoactivas (NSP) en muestras biológicas.	Cerón & Vargas, 2015 (49)
Técnicas electroquímicas				

(VC-SWV)	Método rápido, descentralizado, con capacidad de identificar cuatro catinonas sintéticas a través de sus perfiles electroquímicos.	Permite la detección <i>in situ</i> sin necesidad de preparación de muestras.	Aplicación en la detección de alfa-pirrolidinovalerofenona, N-etilhexedrona, 4-cloroetcatinona y 3-clorometcatinona.	Dragan et al., 2023 (30)
(ASAP)	Acoplamiento de ASAP con un analizador de masas de triple cuadrupolo, sin necesidad de una lista predefinida de compuestos.	Permite la detección rápida y sin preselección de compuestos, mejorando la capacidad de análisis en superficies y muestras de contacto.	Identificación de cathinonas y cannabinoides sintéticos en los dedos de consumidores potenciales, incluso después de limpieza.	Fabregat-Safont et al., 2020 (33)
(VC)	Nanocomposites basados en grafeno con polímeros funcionalizados (itaónico-co-TRIM) preparados por polimerización controlada y libre.	Mejora en la adsorción de la droga en comparación con otros métodos, como la modificación con la mezcla física de GO y polímero.	Detección de 4-MMC en muestras simuladas y orina sintética.	Prete et al., 2023 (36)
(DPA _{AdSV})	Método rápido, simple, y selectivo usando electroquímica para la detección de 5-MeO-MiPT.	Mayor selectividad y sensibilidad en la detección de 5-MeO-MiPT, superando limitaciones de técnicas convencionales.	5-MeO-MiPT.	Melo et al., 2023 (38)
(DPV)	Estudio electroquímico de FPM utilizando DPV, con un mecanismo de oxidación basado en la formación de un derivado hidroxilado.	Mejor comprensión del mecanismo electroquímico de FPM y desarrollo de un método analítico con un buen rango lineal.	3-fluorofenmetrazina.	Jiroušková et al., 2023 (39)
(ISEs).	Sensores portátiles, bajo costo, sin necesidad de preparación compleja de muestra, regeneración rápida.	Alternativa más rápida y accesible en comparación con LC-MS/MS; adecuada para screening preliminar.	Detección de mefedrona (4-MMC), clephedrone (4-CMC), flephedrone (4-FMC), butilona y 2-AI.	Pospíšilová et al., 2023 (35)

AdSDPV: (Adsorptive Stripping Differential Pulse Voltammetry) - Voltametría diferencial de pulsos adsorbida, **FTIR:** (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) - Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier, **DUVRS:** (Deep Ultraviolet Raman Spectroscopy) - Espectroscopía Raman de ultravioleta profundo, **Raman + ML:** (Raman Spectroscopy combined with Machine Learning) - Espectroscopía Raman combinada con aprendizaje automático, **PLS-R y PLS-DA:** (Partial Least Squares Regression and Partial Least Squares Discriminant Analysis) - Regresión por mínimos cuadrados parciales y análisis discriminante por mínimos cuadrados parciales, **UHPLC-MS/MS:** (Ultra High Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry) - Cromatografía líquida de ultra alto rendimiento acoplada a espectrometría de masas, **UHPLC-MS:** (Ultra High Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry) - Cromatografía líquida de ultra alto rendimiento acoplada a espectrometría de masas, **UPLC-MS/MS:** (Ultra Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry/Mass Spectrometry) - Cromatografía líquida de ultra alto

rendimiento acoplada a espectrometría de masas en tándem, **GC-MS**: (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) - Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, **VC-SWV**: (Voltammetric Stripping Square Wave) - Voltametría de onda cuadrada de despojo, **ASAP**: (Atmospheric Solids Analysis Probe) - Sonda de análisis de sólidos atmosféricos, **VC**: (Voltammetry with Carbon Nanocomposite) - Voltametría con nanocompuesto de carbono, **DPAdSV**: (Differential Pulse Adsorptive Stripping Voltammetry) - Voltametría diferencial de pulsos adsorbidos, **DPV**: (Differential Pulse Voltammetry) - Voltametría diferencial de pulsos., **ISEs**: (Ion Selective Electrodes) - Electrodo selectivo de iones.

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), ha sido modificada y actualizada para caracterización de sustancias narcóticas y otros adulterantes como lo son la cafeína y analgésicos en muestras combinadas como el acetaminofén; se ha logrado mejorar la fiabilidad y precisión con la eliminación de interferencias mediante análisis residual según estudios de Williams et al. (2023) (32). Por otro lado, la técnica analítica de Espectroscopía de reflectancia difusa en UV-Visible (DUVRS) se caracteriza por ser no destructiva y se obtienen respuestas rápidas en muestras de fluidos orales y corporales, además de ser una técnica altamente sensible en comparación con todas las que ya se revisaron, pues es posible analizar muestras puras y contaminadas (52-53).

Por otro lado, entendiendo la necesidad de evaluar muestras en fluidos corporales, Barone et al. (2024) mostró que por medio de la técnica de UPLC-MS, se logró la identificación de un panel complejo con más de 137 compuestos en matrices de sangre y orina. Esta técnica es fácil de aplicar, es económica y muy sensible (37). Por medio de este mismo método, Mastrogianni et al. (2023), logró la identificación en serie de 25 sustancias en muestras de cerumen post-mortem, siendo también muy precisa para esta aplicación (47). Por el método de cromatografía de gases acoplado a masas (GC-MS), se encontraron limitaciones para identificación de algunos compuestos modificados de la cocaína, como es el caso de la ecgonina; a pesar de ello Rovira et al. (2016) confirmó que es muy eficaz ya que solo se requiere una corrida de la muestra para obtener buenos resultados en muestras de orina (48).

Para análisis en campo, resultan ser muy eficientes las técnicas electroquímicas, ya que suelen ser muy rápidas y gracias a la forma en que se presentan sus resultados, no se requiere preparación compleja de las muestras. La técnica de voltamperometría de onda cuadrada (VS-SWV), según información de Dragan et al. (2023), permitió la identificación de sustancias derivadas de catinonas sintéticas en corto tiempo y con una alta precisión y simplicidad (30). Adicionalmente, buscando más profundidad y un mayor alcance en estos estudios, se Fabregat-Safont et al. (2020) evidenció mediante la técnica de Sonda de Análisis de Sólidos Atmosféricos (ASAP) junto a un analizador de masas de triple cuadrupolo, la mejora para la caracterización directa en superficies, siendo eficaz también cuando se utiliza para huellas dactilares incluso si han sido borradas o limpiadas, haciéndola excelente para escenas de criminalística (33). Por su parte, Prete et al. (2023) mostró que el uso del ciclado voltamperométrico (VC) junto con nanocompuestos de grafeno ha sido eficaz en la detección de catinonas como la 4-MMC en muestras simuladas y orina sintética, mejorando la adsorción de la droga y la eficacia analítica respecto a otros métodos tradicionales (36). De igual forma, Melo et al. (2023) aplicaron la voltamperometría de pulso de adsorción diferencial (DPAdSV) para detectar 5-MeO-MIPT con alta sensibilidad y selectividad, superando limitaciones de técnicas convencionales y posicionándola como una opción valiosa en la identificación de

compuestos específicos en investigaciones forenses (38). Finalmente, Pospíšilová et al. (2023) destacaron la efectividad de los sensores de intercambio iónico (ISEs) como una alternativa accesible y de bajo costo para el análisis preliminar de NSP, ya que permiten realizar screening rápido y no destructivo sin preparación de muestras, siendo ideales para su uso en campo o en puntos de control (35).

Ventajas y limitaciones de nuevas tecnologías de detección e identificación de NSP

Es claro, que las principales ventajas con el desarrollo y evolución de estas nuevas tecnologías, es la alta sensibilidad de las técnicas, los tiempos cortos de respuesta, la reproducibilidad de los resultados, la versatilidad de las técnicas y la diversificación para poder encontrar muchos tipos de sustancias sin requerir mayores preparaciones de las muestras y su aplicación en campo (53), con algunas técnicas es posible identificar una amplia cantidad de compuestos que no se encuentran registrados en bibliotecas digitales y tradicionales. Adicionalmente, se resalta que es posible hacer la identificación a concentraciones extremadamente bajas, incluso cuando se encuentran interferencias de contaminantes en las muestras o con matrices de alta complejidad, como es el caso de los fluidos biológicos. A pesar de las múltiples ventajas que presentan, también tienen limitaciones, como son el requerimiento de validaciones muy rigurosas para lograr ser implementadas en análisis de rutina, es decir, que suele ser muy complejo y tardado para conseguir adoptarlo y adaptarlo en contextos judiciales (47). Algunos métodos pueden ser muy costosos o pueden requerir condiciones muy específicas para su implementación, en temas de espacios adecuados y/o personal calificado (36, 38), que cuente con la capacitación necesaria para la aplicación de estos métodos y para la interpretación de resultados, lo que lo hace más limitado para laboratorios o espacios que no cuenten con los recursos necesarios (53). Otros métodos que ya han sido avalados por entes legales como el GC-MS y la espectroscopía UV-Vis, presentan la dificultad de requerir preparaciones de las muestras, haciendo más prolongado el tiempo de respuesta (48, 49), sin embargo, son métodos de referencia ya estandarizados.

Estas metodologías, deben seguir avanzando dada la evidente deficiencia de información de consulta disponible en bases de datos internacionales en temas clínicos y forenses con el fin de lograr mayor confiabilidad, reproducibilidad y alcanzar la aceptación en entes regulatorios y legislativos (54).

La Tabla 7 presenta de forma detallada, una comparación entre las tecnologías emergentes y los métodos forenses convencionales utilizados para la identificación de NSP, mostrando las ventajas y las limitaciones de cada tecnología, así como las diferencias más representativas con los métodos tradicionales.

Tabla 7. *Comparación entre nuevas tecnologías y métodos forenses convencionales para la identificación de NSP*

Tecnología	Ventajas	Limitaciones	Método Convencional Comparado	Ventajas sobre el Método Convencional	Referencia
Voltamperometría cíclica y de onda cuadrada	Método rápido y portátil, no requiere preparación de	Puede ser sensible a variaciones en las	Espectrometría de masas convencional (GC-MS, LC-MS)	Más rápido, menos invasivo, adecuado para	Dragan et al., 2023 (30)

	muestra, ideal para el análisis descentralizado.	concentraciones de las muestras.		el uso en campo.	
(AdSDPV)	Es un método rápido y sencillo, además es selectivo para la detección de sustancias como la mefedrona y catinonas sintéticas, con baja desviación estándar relativa y capacidad para análisis en campo sin mayor complejidad.	Métodos electroquímicos pueden tener limitaciones en la interferencia de muestras complejas o contaminadas.	cromatografía de gases (GC-MS)	Método rápido y simple para la detección preliminar, con menor costo y facilidad de implementación <i>in situ</i> , además de requerir equipos menos complejos.	Melo et al., 2023 (31)
(FTIR)	Método rápido, fácil de usar, sin necesidad de preparación avanzada de muestras.	La pureza variable de las muestras y la presencia de adulterantes pueden afectar la precisión de la identificación.	LC-MS.	Es más rápido y económico, permitiendo análisis <i>in situ</i> sin necesidad de equipamiento complejo o envíos al laboratorio.	Williams et al., 2023 (32)
(ASAP)	Rápida, sensible, permite análisis en campo y sin la necesidad de listas de compuestos predefinidas.	Podría estar limitada a la precisión del espectro y la posible interferencia de compuestos no identificados.	Cromatografía de gases y espectrometría de masas.	Más rápido, no requiere una lista preestablecida de compuestos, y puede analizar superficies o muestras de contacto humano rápidamente.	Fabregat-Safont et al., 2020 (33)
(UHPLC-MS/MS)	Alta sensibilidad, análisis simultáneo de múltiples sustancias, apto para matrices complejas como sangre y orina.	No especificado	LLE + GC-MS o HPLC	Mayor velocidad de análisis, mayor sensibilidad y capacidad para identificar una amplia gama de NPS en un solo procedimiento.	Ferrari & Caldas, 2022 (34)
(ISEs).	Bajo costo, portabilidad, simplicidad, respuesta rápida.	Menor precisión y selectividad comparada con LC-MS/MS en matrices complejas.	LC-MS/MS (Cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas).	Método no destructivo, análisis rápido sin necesidad de preparación extensa de muestra.	Pospíšilová et al., 2023 (35)

Voltametría electroquímica	Alta sensibilidad y selectividad para la detección de 4-MMC; no influenciada por interferencias comunes como cafeína y benzocaína.	No especificado	Electroquímica convencional sin modificación del GCE.	Mayor sensibilidad y detección de 4-MMC incluso en presencia de otras sustancias, con mejor desempeño analítico.	Prete et al., 2023 (36)
(UHPLC-MS)	Alta sensibilidad, capacidad para analizar un gran número de compuestos (137), y adecuada para muestras de cabello, que es una matriz forense estándar.	No validado para 5 NPS debido a altos límites de detección (LLOQ > 80 pg/mg).	ELISA o técnicas inmunoquímicas.	Mayor capacidad de análisis multi-compuesto y sensibilidad, permitiendo una detección más amplia y precisa en muestras forenses.	Barone et al., 2024 (37)
(DPAdSV)	Método rápido, selectivo, bajo costo y aplicable a muestras biológicas y forenses.	Limitado a la detección de 5-MeO-MiPT.	Técnicas convencionales como la espectrometría de masas.	Más rápido, económico y adecuado para un cribado inicial en entornos forenses.	Melo et al., 2023 (38)
(DPV)	Método sencillo, sensible y con un buen rango lineal para la detección de FPM.	Limitación en la precisión del análisis detallado debido a la influencia parcial de la adsorción en el proceso electroquímico.	Técnicas como la cromatografía de líquidos o espectrometría de masas.	Método más accesible, rápido y de bajo costo para la detección en condiciones simples de laboratorio.	Jiroušková et al., 2023 (39)
(UPLC-MS/MS)	Este método es altamente sensible y selectivo. Tiene amplia aplicación en muestras biológicas difíciles de analizar (orina, sangre, cerumen). Tiene validación forense, es muy confiable y reproducible.	Requiere equipo de alta tecnología como el UPLC-MS/MS, limitando su uso en laboratorios menos equipados. El método está validado para un número específico de sustancias psicoactivas; su ampliación para más sustancias	Métodos tradicionales como la cromatografía en capa fina (TLC) o la espectrometría de masas sin acoplamiento en tándem.	Es muy preciso y puede detectar una mayor cantidad de sustancias psicoactivas de forma simultánea. Se destaca la alta fiabilidad de los resultados.	Mastrogianni et al., 2023 (47)

		puede requerir ajustes.			
(GC-MS)	Alta capacidad de detección simultánea, aplicabilidad en matrices biológicas complejas y validación en múltiples laboratorios forenses.	Requiere equipos especializados como GC-MS y presenta dificultades en la detección de compuestos altamente solubles en agua, como la ecgonina.	Técnicas de detección individuales para cada droga, como inmunoensayos o cromatografía en capa fina.	Se requiere de una sola corrida para identificar diferentes sustancias. Lo que se traduce menores costos y tiempos de respuesta.	Rovira, 2016 (48)
(GC-MS)	Alta sensibilidad y selectividad, aplicabilidad en matrices biológicas complejas, y validación que demuestra fiabilidad y reproducibilidad del método.	Requiere equipos especializados como GC-MS y presenta sensibilidad a variaciones en el pH de extracción, lo que puede afectar la robustez del método.	Técnicas de detección individuales para cada droga, como inmunoensayos o cromatografía en capa fina, que pueden ser menos eficientes y más propensas a interferencias.	Mayor eficiencia y capacidad para detectar múltiples sustancias en una sola corrida, reduciendo el tiempo y los recursos necesarios para el análisis, además de una mejor selectividad y sensibilidad.	Cerón & Vargas, 2015 (49)
(DUVRS)	No destructivo, rápido, y con alta sensibilidad para la detección de contaminantes en fluidos orales.	Límite de detección relativamente alto (50 µg/mL) y necesidad de más desarrollo para aplicar a una mayor variedad de drogas.	Métodos tradicionales como cromatografía líquida o espectrometría de masas.	Menos tiempo de análisis, no requiere preparación de la muestra, y puede realizarse de manera in situ.	Amin et al., 2025 (52)
(Raman + ML)	Rápido, no destructivo, y capacidad para analizar una amplia gama de	Requiere de integración con tecnologías avanzadas como el aprendizaje	Técnicas tradicionales de análisis forense como inmunoensayo, cromatografía y	Mayor rapidez, capacidad para realizar análisis in situ, y la habilidad de combinar	Alpuché et al., 2025 (53)

	muestras con alta precisión.	automático y puede necesitar más desarrollo para una adopción masiva.	espectrometría de masas.	múltiples tipos de análisis en una sola técnica.	
(PLS-R y PLS-DA)	No destructiva, eficiente, alta precisión en la clasificación de edades.	El RMSEP podría ser mejorado con más datos y pruebas adicionales.	Métodos invasivos o destructivos para estimación de edad (por ejemplo, análisis de dientes o huesos).	No requiere destrucción de la muestra y proporciona resultados rápidos y no invasivos.	Mitu et al., 2025 (54)

AdSDPV: (Adsorptive Stripping Differential Pulse Voltammetry) - Voltametría diferencial de pulsos adsorbida, **FTIR:** (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) - Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier, **DUVRS:** (Deep Ultraviolet Raman Spectroscopy) - Espectroscopía Raman de ultravioleta profundo, **Raman + ML:** (Raman Spectroscopy combined with Machine Learning) - Espectroscopía Raman combinada con aprendizaje automático, **PLS-R y PLS-DA:** (Partial Least Squares Regression and Partial Least Squares Discriminant Analysis) - Regresión por mínimos cuadrados parciales y análisis discriminante por mínimos cuadrados parciales, **UHPLC-MS/MS:** (Ultra High Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry) - Cromatografía líquida de ultra alto rendimiento acoplada a espectrometría de masas, **UHPLC-MS:** (Ultra High Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry) - Cromatografía líquida de ultra alto rendimiento acoplada a espectrometría de masas, **UPLC-MS/MS:** (Ultra Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry/Mass Spectrometry) - Cromatografía líquida de ultra alto rendimiento acoplada a espectrometría de masas en tándem, **GC-MS:** (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) - Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, **VC-SWV:** (Voltammetric Stripping Square Wave) - Voltametría de onda cuadrada de despojo, **ASAP:** (Atmospheric Solids Analysis Probe) - Sonda de análisis de sólidos atmosféricos, **VC:** (Voltammetry with Carbon Nanocomposite) - Voltametría con nanocompuesto de carbono, **DPAdSV:** (Differential Pulse Adsorptive Stripping Voltammetry) - Voltametría diferencial de pulsos adsorbidos, **DPV:** (Differential Pulse Voltammetry) - Voltametría diferencial de pulsos, **ISEs:** (Ion Selective Electrodes) - Electrodos selectivos de iones.

Perspectivas futuras en la investigación y aplicación de técnicas detección e identificación de NSP

Las limitaciones ya presentadas, aclaran aún más la necesidad de ahondar más en técnicas integradas que ofrezcan una alta sensibilidad, que sean selectivos, portátiles y que respondan con rapidez y a cabalidad ante la aparición de todas las nuevas estructuras modificadas y mejoradas que hasta el momento llegan a pasar desapercibidas dada su velocidad de evolución y falta de información en fuentes oficiales validadas. La perspectiva hacia el futuro es clara, y se trata de contar con una mayor profundidad de técnicas cada vez más avanzadas, con herramientas bioinformáticas sin dejar de lado los sistemas de inteligencia artificial, esto no solo para analizar las sustancias puras y contaminadas, si no también lograr sus predicciones y evaluar su comportamiento en farmacología y toxicología (69).

Dado el nivel de detalle de algunas tecnologías, se prevé una ampliación en el uso específico de estas técnicas como son la Espectrometría de masas de alta resolución (HRMS), la Resonancia Magnética Nuclear (RMN), la Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), por medio de estas se logra una caracterización de estructuras óptima, además que resultan ser muy útiles con moléculas modificadas y desconocidas, para lo cual se hace uso de bases de datos. Se estima también, un creciente uso de técnicas electroquímicas como la voltametría por lo que ya se mencionó previamente; es un método económico, sencillo de usar, no requiere grandes preparaciones de muestra, es portable y sus tiempos de respuesta son mínimos (70).

Aunque ya se vienen usando, se proyecta un crecimiento de sensores inteligentes como lo son los biosensores, inmunosensores, y sensores de nanotecnología, esto reduciría aún más de forma muy significativa los tiempos de respuesta; lo que lo hace muy aplicable a análisis in situ, como controles aeroportuarios, entornos clínicos, carcelarios y análisis en campo en general incluso si se trata de muestras de alta complejidad (71).

Se estima que ante esta creciente problemática, crezca la alimentación de bases de datos e información general de forma internacional, para enfrentar oportunamente el dinamismo del mercado de las NSP. Resultaría muy útil poder contar con información compartida en tiempo real de fuentes globales oficiales ante nuevas estructuras, sustancias, metodologías y resultados toxicológicos. Será clave continuar con herramientas como el sistema Early Warning System de la Unión Europea que es una herramienta colaborativa y otras bases de datos online como la HighResNPS y los reportes de SWGDRUG; y esto, no solo para revisión y comparación de reportes, si no también con el fin de hacer modelos predictivos simulados que permitan evaluar las interacciones entre las sustancias y el receptor, como la toxicidad y la respuesta del metabolismo de estas, para que de esta forma se anticipen los riesgos y las respuestas asociadas a las NSP (72).

Es necesario poder contar con la suficiente información y con las validaciones legales acordes para lograr discriminación parcial, temporal o total de familias químicas que vayan emergiendo, por lo que se reconfirma la importancia de integrar la ciencia, la innovación y las legislaciones vigentes, así como, centros de desarrollo, investigación y los entes regulatorios en temas de sanidad y control de drogas (73-74).

Análisis de riesgo de sesgo

A continuación, se presenta la Tabla 8, explicando la revisión realizada de estudios relevantes para el tema de identificación, caracterización y detección forense de NSP y drogas sintéticas, donde se encontraron las principales técnicas de análisis. Gracias a la información presentada, fue posible la evaluación para dar respuesta al cuestionamiento de investigación y también, entender el riesgo de sesgo asociado. Es importante resaltar que, estas investigaciones tienen perspectivas diferentes en metodología, patrones de evaluación, precisión, sensibilidad y tiempos de respuesta esperados.

Tabla 8. *Evaluación del riesgo de sesgo de los artículos elegidos*

ID	Título de la Revisión	Autores y Año	Fuente/Bases de datos	¿La revisión responde a tu pregunta? (Sí/No)	¿Criterios claramente definidos? (Sí/No/Parcial)	Justificación	Riesgo global de sesgo (Bajo/Alto/Incierto)	Justificación global del juicio
DOI 10.3390/nano13172393	Forensic Analysis of Synthetic Cathinones on Nanomaterials-Based Platforms: Chemometric-Assisted Voltametric and UPLC-MS/MS Investigation	Dragan et al., 2023	Nanomaterials/MDPI	Sí	Sí	La revisión destaca detalladamente las técnicas actuales para la detección de NSP, en sustancias catinonas sintéticas.	Bajo	El estudio se basa en métodos validados con una amplia gama de sustancias, lo que proporciona un análisis objetivo y claro.
DOI 10.1039/D3AN00065F	Electrochemical detection of mephedrone using a graphene screen-printed electrode: a new sensitive and selective approach to identify synthetic cathinones in forensic analysis	Melo et al., 2023	Analyst	Sí	Sí	Tiene una perspectiva innovadora en temas de sensibilidad para la detección de mefedrona.	Bajo	El uso de tecnologías avanzadas como electroquímica y materiales innovadores refuerza la relevancia del estudio sin sesgo evidente.

DOI 10.1039/D3 AY00766A	Rapid identification of illicit street narcotics using FTIR spectroscopy	William s et al., 2023	Analytical Methods	Sí	Sí	La técnica FTIR es útil para la identificació n rápida de narcóticos.	Bajo	La metodol ogía present ada tiene un enfoqu e práctico y es fácilme nte aplicabl e a la identific ación forense , sin sesgos evident es.
DOI 10.1021/jas ms.0c00112	Novel application of atmospheric solids analysis probe (ASAP) for fast screening of new psychoactive substances (NPS)	Fabreg at- Safont et al., 2020	Journal of the American Society for Mass Spectrometr y	Sí	Sí	Propuesta de un método rápido para la detección de NPS en diversas superficies.	Bajo	La aplicaci ón práctica del método tiene un impacto directo en la mejora de la identific ación en el ámbito forense , con baja probabil idad de sesgo.
DOI 10.1007/s11 419-021- 00600-y	Determination of new psychoactive substances and other drugs in postmortem blood and urine by UHPLC- MS/MS: Method validation and	Ferrari & Caldas, 2022	Forensic Toxicology	Sí	Sí	Validación de métodos para la detección de NPS en fluidos biológicos.	Bajo	El método validad o y la aplicaci ón en casos forense s aportan un enfoqu e

	analysis of forensic samples							robusto, con mínima posibilidad de sesgo.
DOI 10.1002/elan.202200468	Potentiometric Detection of Synthetic Cathinones Using Ion-Selective Electrodes	Pospíšilová et al., 2023	Electroanalysis	Sí	Sí	Métodos alternativos con electrodos selectivos de iones para la detección de catinonas sintéticas.	Bajo	El estudio es equilibrado y propone soluciones prácticas y sin sesgos en la tecnología empleada.
DOI 10.1016/j.lectacta.2023.142797	Performance of new nanocomposites based on graphene-grafted-poly (itaconic acid-co-TRIM) via photoiniferter, thermal vinyl functionalization, and physical mixture as electrochemical sensing platforms for illicit drug determination	Prete et al., 2023	Electrochimica Acta	Sí	Sí	El estudio muestra cómo los nanocomposites y los sensores electroquímicos avanzados pueden mejorar la detección de sustancias ilícitas, lo cual es una tendencia en la identificación de NPS.	Bajo	La investigación proporciona un enfoque innovador, pero no muestra sesgos, ya que utiliza tecnologías de vanguardia con resultados confiables.
DOI 10.1016/j.jpba.2024.116054	Validation and application of a method for the quantification of 137 drugs of abuse and new psychoactive	Barone et al., 2024	Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis	Sí	Sí	La validación de métodos para la cuantificación de drogas y NPS en muestras de cabello es	Bajo	El enfoque es válido o es preciso y proporciona

	substances in hair					relevante para la identificación forense de nuevas sustancias psicoactivas		resultados aplicables en contextos forenses sin sesgo claro.
DOI 10.1016/j.snb.2023.134183	Electrochemistry of the synthetic tryptamine 5-MeO-MiPT at glassy carbon and screen-printed electrodes: a rapid and simple screening method for application in forensic analysis	Melo et al., 2023	Sensors and Actuators B: Chemical	Sí	Sí	La investigación sobre el uso de electroquímica para la detección de sustancias tryptaminas es pertinente para los retos de identificación de NPS en forense.	Bajo	El estudio es detallado y ofrece un enfoque rápido y sencillo para detección sin sesgos.
DOI 10.1002/elsa.202100223	Voltammetric study of new psychoactive substance 3-fluorophenmetrazine	Jiroušková et al., 2023	Electrochemical Science Advances	Sí	Sí	El estudio se centra en la detección de 3-fluorofenmetrazina mediante voltametría, lo cual es útil para los retos en la identificación de nuevas sustancias psicoactivas	Bajo	La investigación ofrece un método directo y preciso, con baja probabilidad de sesgo.
https://link.springer.com/article/10.1007/s11419-022-00640-y	Development and validation of an ultra-performance liquid chromatography–tandem mass spectrometric method for the determination of 25	Mastrogiani et al., 2023	SpringerLink	Sí	Sí	Aborda la detección de drogas psicoactivas en cerumen, proporcionando un enfoque novedoso que es útil para los casos post-mortem.	Bajo	La revisión tiene un enfoque claro sobre la aplicación de UPLC-MS/MS en muestras

	psychoactive drugs in cerumen and its application to real postmortem samples.							forensics.
http://hdl.handle.net/10906/81091	Verificación de un método analítico para detectar simultáneamente cocaína, sus metabolitos y 17 drogas de abuso en orina por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.	Rovira, 2016	HDL Handle System	No	Sí	El estudio es relevante para la detección de drogas en orina, pero no está específicamente enfocado en nuevas sustancias psicoactivas.	Moderado	Aunque no se enfoca en NPS, es una referencia válida para detección de drogas en orina.
https://doi.org/10.33975/ruiq.vol27n1.44	Validación de un método bioanalítico para la determinación de opiáceos, opioides y sus metabolitos en muestras de interés forense, por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.	Grisales et al., 2015	Revista de Investigaciones Universidad del Quindío	No	Sí	Abarca opioides y sus metabolitos, pero no cubre específicamente las NPS.	Moderado	La revisión es útil para comprender técnicas de detección, pero no se concentra en NPS.
https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.125595	Deep ultraviolet Raman spectroscopic analysis of antihistamine drugs in oral fluid for forensic purposes	Amin et al., 2025	Elsevier/ScienceDirect	Sí	Sí	Aporta una nueva técnica de espectroscopía Raman para la identificación de antihistamínicos, útil para casos forenses.	Bajo	La revisión es relevante para las nuevas tecnologías en el análisis de sustancias forenses.

https://doi.org/10.1002/jrs.6750	Flashforward: The Current and Future Applications of Vibrational Spectroscopy for Forensic Purposes	Alpuché et al., 2025	Wiley Online Library	Sí	Sí	Aborda las tendencias actuales y futuras en espectroscopía vibracional, que incluye aplicaciones en NPS.	Bajo	La revisión es comprensiva y bien fundamentada en tecnologías emergentes.
https://doi.org/10.1111/1556-4029.15641	Attenuated total reflection Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) analysis of human nails: Implications for age determination in forensics	Mitu et al., 2025	Wiley Online Library	No	Sí	Aunque aborda un aspecto interesante de la edad forense, no está relacionado con las NPS.	Moderado	La técnica es interesante y podría utilizarse para otras identificaciones, pero no se enfoca en las NPS.
https://doi.org/10.1177/2755185724125217	Discrimination Between Human and Animal Blood Using Raman Spectroscopy and a Self-Reference Algorithm for Forensic Purposes: Method Expansion and Validation	Dickler et al., 2024	Sage Journals	No	Sí	Este estudio está relacionado con la discriminación entre sangre humana y animal, sin conexión directa con NPS.	Moderado	La técnica es útil, pero no está vinculada a las NPS.
https://doi.org/10.3390/s24113262	Raman Spectroscopy for the Time since Deposition Estimation of a Menstrual Bloodstain	Weber et al., 2024	MDPI/Sensors	No	Sí	El estudio se enfoca en la estimación del tiempo desde la deposición de sangre, no en NPS.	Moderado	Aunque es útil en análisis forenses, no se relaciona con NPS.

https://doi.org/10.1117/1.2.3014160	Laser-based infrared sensor for fast and non-contact detection and identification of forensic traces in crime scene investigations	Haertelt et al., 2024	SPIE Digital Library	Sí	Sí	La tecnología de sensores láser es prometedor a para la identificación rápida de rastros forenses, incluidos NPS.	Bajo	Aporta una metodología innovadora que puede aplicarse a NPS.
https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.124297	Miniaturized Near-Infrared spectrophotometers in forensic analytical science – a critical review	Foli et al., 2024	Elsevier/ScienceDirect	Sí	Sí	La miniaturización de espectrofotómetros NIR tiene un gran potencial para el análisis in situ de NPS.	Bajo	Esta revisión es relevante para la mejora de las herramientas forenses en el análisis de NPS.
https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.11.004	Impurities, adulterants and cutting agents in cocaine as potential candidates for retrospective mining of GC-MS data	Laposc han et al., 2022	Elsevier/ScienceDirect	No	Sí	La revisión se enfoca más en cocaína que en NPS, aunque trata sobre la identificación de impurezas en drogas.	Moderado	Aunque se centra en cocaína, el uso de GC-MS y la identificación de impurezas podría ser útil para la identificación forense de NPS en general.
https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.11.024	Rapid and simple procedure for the determination of cathinones,	Mercieca et al., 2018	Elsevier/ScienceDirect	Sí	Sí	La revisión aborda directamente métodos de identificación	Bajo	Se centra en una de las técnicas más

	amphetamine-like stimulants and other new psychoactive substances in blood and urine by GC-MS					n forense de NPS mediante GC-MS.		utilizadas para la identificación de NPS en fluidos biológicos, relevante para la pregunta de investigación.
https://e-space.mmu.ac.uk/id/eprint/622108	Development of new methods of detection and quantification of controlled and new psychoactive substances (NPS) using liquid chromatography-amperometric detection (LC-AD)	Zuway, 2018	Manchester Metropolitan University Repository	Sí	Sí	La revisión discute el desarrollo de nuevos métodos para detectar y cuantificar NPS, directamente relacionado.	Bajo	Aporta perspectivas sobre nuevas tecnologías y la mejora de la selectividad en la identificación de NPS, lo cual responde directamente a la pregunta.
https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2017.01.046	Separation of ortho, meta and para isomers of methylmethcathinone (MMC) and methylethcathinone (MEC) using LC-ESI-MS/MS: Application to forensic	Maas et al., 2017	Elsevier/ScienceDirect	Sí	Sí	Trata sobre la separación de isómeros de NPS en muestras biológicas, importante para la identificación precisa.	Bajo	Responde específicamente a la identificación de NPS en muestras biológicas, lo que es

	serum samples							crucial para el análisis forense de NPS.
https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.014	Source identification of heroin by rapid detection of organic impurities using direct analysis in real time with high-resolution mass spectrometry and multivariate statistical analysis	Cui et al., 2019	Elsevier/ScienceDirect	No	Sí	Aunque la revisión aborda heroína, el uso de DART-HRMS y análisis multivariados es relevante para la identificación forense de NPS.	Moderado	Aunque no se centra en NPS, la tecnología utilizada podría extenderse a la identificación de nuevas sustancias psicoactivas.
https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/pac-2021-1204/html	Electrochemiluminescence sensors and forensic investigations: a viable technique for drug detection?	Brown & Denny, 2022	De Gruyter Brill	Sí	Sí	La revisión discute el uso de sensores electroquímicos luminiscentes (ECL) para la detección de NPS, directamente relacionada con la pregunta de investigación.	Bajo	La revisión proporciona una visión completa sobre el potencial de los sensores ECL para la identificación rápida y precisa de NPS en investigaciones forenses.

<p>https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.analchem.4c04059</p>	<p>Synthetic Cathinones' Comprehensive Screening and Classification by Voltammetric and Chemometric Analyses: A Powerful Method for On-Site Forensic Applications</p>	<p>Lima et al., 2024</p>	<p>ACS Publications</p>	<p>Sí</p>	<p>Sí</p>	<p>Aborda la detección y clasificación de catinonas sintéticas utilizando técnicas electroquímicas y quimiométricas, directamente relevante.</p>	<p>Bajo</p>	<p>La aplicación de métodos avanzados como la voltamperometría y quimiometría ofrece nuevas tendencias para la identificación rápida y eficaz de NPS en campo.</p>
<p>https://doi.org/10.1016/j.jelectacta.2020.136728</p>	<p>Electrochemical detection of the synthetic cathinone 3,4-methylenedioxypropylvalerone using carbon screen-printed electrodes: A fast, simple and sensitive screening method for forensic samples</p>	<p>Lima et al., 2020</p>	<p>Elsevier/ScienceDirect</p>	<p>Sí</p>	<p>Sí</p>	<p>Presenta un método electroquímico para detectar MDPV, una NPS, en muestras forenses, relacionado directamente con la identificación de NPS.</p>	<p>Bajo</p>	<p>La revisión describe un método simple y económico para detectar NPS, lo que es crucial para abordar los retos de la identificación forense de NPS.</p>
<p>https://doi.org/10.1002/wfs2.1455</p>	<p>Identification of synthetic cathinones in seized materials: A review of analytical</p>	<p>De Campos et al., 2022</p>	<p>Wiley Online Library</p>	<p>Sí</p>	<p>Sí</p>	<p>Aborda específicamente las estrategias analíticas para la identificación</p>	<p>Bajo</p>	<p>Ofrece un panorama integral sobre las</p>

	strategies applied in forensic chemistry					n de catinonas sintéticas, un tema clave en la investigación de NPS.		técnicas más utilizadas y emergentes para identificar NPS, crucial para la pregunta de investigación.
https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acssensors.9b02390	Electrochemical Sensing of Cannabinoids in Biofluids: A Noninvasive Tool for Drug Detection	Klimuntowski et al., 2020	ACS Publications	No	Sí	Aunque se centra en cannabinoides, el uso de sensores electroquímicos podría extenderse a la identificación de NPS.	Moderado	Aunque se centra en cannabinoides, la tecnología de detección electroquímica puede ser aplicable para la identificación de diversas NPS.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la justificación del sesgo, los estudios con validaciones robustas, aplicación en matrices reales o interlaboratorios son correctamente calificados con bajo riesgo, mientras que aquellos con limitaciones en la reproducibilidad o sin conexión directa con escenarios forenses son considerados de riesgo moderado o alto. Asimismo, se incluyen algunos estudios que, aunque no responden directamente a la pregunta principal, abordan sustancias asociadas como opioides, adulterantes o antihistamínicos, lo cual resulta pertinente para enriquecer el contexto multidimensional del análisis forense actual.

4. Conclusiones

La identificación de NSP en el ámbito forense y toxicológico, atraviesa un fuerte reto ante la creciente evolución y transformación de compuestos, que logra sortear los controles regulatorios actuales. Por ello, se requieren metodologías cada vez más precisas y rápidas,

con buena reproducibilidad y con amplia capacidad para detectar sustancias nuevas y desconocidas de forma eficiente. Es indispensable contar con información de plataformas actualizadas, confiables, de fuentes legales, que tengan analíticas innovadoras para lograr la optimización de estos métodos, pues, esta es una gran limitación en países con falta de acceso a tecnología por temas de recursos. Todo esto, en aras de mejorar la salud y la seguridad pública, combatiendo el tráfico de sustancias y al mismo tiempo, evitando los riesgos que desencadenan para la salud, además de los factores que se encuentran en el campo judicial.

5. Agradecimientos

Primero, agradezco a Dios, fuente inagotable de sabiduría, fortaleza y guía, quien me ha acompañado en cada paso de este camino académico y personal, dándome la luz necesaria para superar cada desafío.

A mi familia, mi pilar más firme, gracias por su amor incondicional, su apoyo constante y sus palabras de aliento que me motivaron a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Cada logro es también suyo.

A los docentes que a lo largo de este proceso compartieron sus conocimientos, experiencias y valores, les expreso mi profundo respeto y gratitud. Sus enseñanzas han dejado una huella imborrable en mi formación profesional y personal.

De manera especial, agradezco al tutor Dennis Mauricio Ocampo, por su acompañamiento, dedicación y guía en el desarrollo de este trabajo de grado. Su apoyo, sus orientaciones acertadas y su compromiso fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

A todos, gracias por ser parte de este logro.

6. Conflicto de intereses

El autor declara que no existen conflictos de interés en relación con la realización de este estudio.

Referencias bibliográficas

- (1) Torres, M. A. P., & Torres, J. R. H. (2023). *Narcotráfico en tiempos convulsos*. RUTH. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zLbGEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA14&dq=\(1\)%09Torres,+M.+A.+P.,+%26+Torres,+J.+R.+H.+\(2023\).+Narcotr%C3%A1fico+en+tiempo+s+convulsos.+RUTH.&ots=GAMykzaBAq&sig=eN7RccSxQMikVzPdZJIN4cW-aSk#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zLbGEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA14&dq=(1)%09Torres,+M.+A.+P.,+%26+Torres,+J.+R.+H.+(2023).+Narcotr%C3%A1fico+en+tiempo+s+convulsos.+RUTH.&ots=GAMykzaBAq&sig=eN7RccSxQMikVzPdZJIN4cW-aSk#v=onepage&q&f=false)
- (2) Cocco, L. A., Pezzuchi, G., Ortega, L. M., Rainoldi, L. F., Rovira, M. E., & Bianchi, A. G. (2020). El paradigma de las nuevas sustancias psicoactivas. *Perspectivas*, (2). <http://revistas.ucaip.edu.ar/index.php/Perspectivas/article/view/133>

- (3) Lugo-Vargas, A. F., Chaves-Silva, D. C., Quevedo-Buitrago, W. G., & Martínez-Suárez, J. F. (2020). Catinonas sintéticas: una revisión del panorama actual y las estrategias de detección analítica. *Revista de toxicología*, 37(1). https://www.researchgate.net/profile/William-Quevedo/publication/342600735_Catinonas_sinteticas_una_revision_del_panorama_actu_al_y_las_estrategias_de_deteccion_analitica/links/5f0c6f2f92851c38a519bd4c/Catinonas-sinteticas-una-revision-del-panorama-actual-y-las-estrategias-de-deteccion-analitica.pdf
- (4) UNODC. Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito. (2024). Informe Mundial sobre las Drogas 2024 de UNODC: los daños del problema mundial de las drogas siguen aumentando en medio de la expansión del consumo y los mercados de drogas. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito en México. Recuperado de: https://www.unodc.org/lpomex/es/noticias/junio-2024/informe-mundial-sobre-las-drogas-2024-de-unodc_-los-daos-del-problema-mundial-de-las-drogas-siguen-aumentando-en-medio-de-la-expansion-del-consumo-y-los-mercados-de-drogas.html
- (5) Morales Alfaro, K. (2024). Establecimiento de un método de cromatografía de capa fina de alta resolución (HPTLC) para la determinación de Cannabidiol (CBD) en matrices comerciales presentes en el mercado nacional. <https://hdl.handle.net/11056/29475>
- (6) Mariño-Gaviria, D. J. (2022). Post-mortem detection of a new DOC psychoactive substance in vitreous humor. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/53bcd802-b30a-4c82-974e-6fb264ba5463>
- (7) Rodríguez, J. A. V. Verificación del método de análisis cualitativo de cannabinoides por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. <https://repository.icesi.edu.co/server/api/core/bitstreams/7e08a15c-10b0-4c4e-84fc-6ff719988b55/content>
- (8) Alonso, C. F., Jorge, Ó. Q., Tejedor, S. A., Santiago-Sáez, A. E., & Armengol, J. J. G. (2019). Intoxicación aguda por nuevas drogas de abuso en probables casos de sumisión química oportunista y/o mixta y chemsex en pacientes VIH atendidos en urgencias. *Emergencias*, 31(4). <https://emergenciasojs.portalsemes.org/index.php/emergencias/article/view/1918>
- (9) Llanos, I. H. H., García, L. A. A., Andrade, H. X. M., & Rivera, P. E. R. (2024). Evaluación del peritaje informático forense en Quito: Desafíos, estándares y recomendaciones para mejorar su eficacia. *Revista Científica Ciencia y Tecnología*, 24(44). <https://doi.org/10.47189/rcct.v24i44.723>
- (10) Monjarás, O. D. C. (2024). Las Nuevas Sustancias Psicoactivas-NSP-y el Laboratorio de Sustancias Controladas del Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala. *Revista Científica Diálogo Forense*, 5(9). <https://www.revistasguatemala.usac.edu.gt/index.php/df/article/view/1937>
- (11) Spálovská, D., Králík, F., Kohout, M., Jurásek, B., Habartová, L., Kuchař, M., & Setnička, V. (2018). Structure determination of butylone as a new psychoactive substance using

chiroptical and vibrational spectroscopies. *Chirality*, 30(5), 548-559. <https://doi.org/10.1002/chir.22825>

- (12) Negoita, C., Praisler, M., & Ion, A. (2019, February). Artificial intelligence application designed to screen for new psychoactive drugs based on their ATR-FTIR spectra. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2075, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.5091391>
- (13) Sala, M. (2024). Electronic cigarettes are a tool to vape illicit drugs. *Discover Public Health*, 21(1), 68. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12982-024-00191-0>
- (14) Miliano, C., Margiani, G., Fattore, L., & De Luca, M. A. (2018). Sales and advertising channels of new psychoactive substances (NPS): internet, social networks, and smartphone apps. *Brain sciences*, 8(7), 123. <https://doi.org/10.3390/brainsci8070123>
- (15) Guimarães, M. Z. P., & Neves, G. Â. (2021). Pharmacology of drugs of abuse: pharmacokinetics and pharmacodynamics of psychotropic compounds. In *Drugs and human behavior: biopsychosocial aspects of psychotropic substances use* (pp. 109-127). Cham: Springer International Publishing. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-62855-0_8
- (16) Taflaj, B., La Maida, N., Tittarelli, R., Di Trana, A., & D'Acquarica, I. (2024). New Psychoactive Substances Toxicity: A Systematic Review of Acute and Chronic Psychiatric Effects. *International journal of molecular sciences*, 25(17), 9484. <https://doi.org/10.3390/ijms25179484>
- (17) Schifano, F., Napoletano, F., Chiappini, S., Guirguis, A., Corkery, J. M., Bonaccorso, S., ... & Vento, A. (2021). New/emerging psychoactive substances and associated psychopathological consequences. *Psychological medicine*, 51(1), 30-42. <https://doi.org/10.1017/S0033291719001727>
- (18) UNODC. Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito. (2024). Amenazas actuales de las NS. Volumen VII: Recuperado de: https://www.unodc.org/documents/scientific/Current_NPS_threats_VII-Sp.pdf
- (19) ODC. Observatorio de Drogas de Colombia. Drogas de síntesis y Nuevas Sustancias Psicoactivas en Colombia 2023. (2023). Recuperado de: <https://www.minjusticia.gov.co/programas-co/ODC/Documents/SAT/Hallazgos%20y%20tendencias%20del%20mercado%20de%20drogas%20de%20s%C3%ADntesis%20versi%C3%B3n%20final.pdf>
- (20) Separations Science. (2023). *Detección de las nuevas sustancias psicoactivas mediante el espectrómetro de masas de alta resolución Orbitrap MS*. SepScience Blog. Recuperado de: <https://blog.sepscience.com/espanol/detecci%C3%B3n-de-las-nuevas-sustancias-psicoactivas-mediante-el-espectr%C3%B3metro-de-masas-de-alta-resoluci%C3%B3n-orbitrap-ms>

- (21) Wei, J. N., Belanger, D., Adams, R. P., & Sculley, D. (2019). Rapid prediction of electron-ionization mass spectrometry using neural networks. *ACS central science*, 5(4), 700-708. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acscentsci.9b00085>
- (22) Giner García, R., & López Briz, E. (2023). El fentanilo como punto de partida en la crisis de opioides. Situación actual y visión retrospectiva en Europa y EEUU. <https://hdl.handle.net/10550/103227>
- (23) EMCDDA. (2022). European Drug Report 2022: Trends and Developments. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction. <https://www.emcdda.europa.eu/publications/edr/trends-developments/2022>
- (24) ODC. Observatorio de Drogas de Colombia. (2024). Informe sobre Nuevas Sustancias Psicoactivas en Colombia 2023. Ministerio de Justicia y del Derecho. <https://www.minjusticia.gov.co/programas/observatorio-de-drogas-de-colombia>
- (25) SWGDRUG. (2023). *Recommendations for Seized Drugs: A Laboratory Validation Guide (Version 8.1)*. Scientific Working Group for the Analysis of Seized Drugs. <https://www.swgdrug.org/>
- (26) Armenian, P., Vo, K. T., Barr-Walker, J., & Lynch, K. L. (2018). Fentanyl, fentanyl analogs and novel synthetic opioids: a comprehensive review. *Neuropharmacology*, 134, 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2017.10.016>
- (27) Cannaert, A., Storme, J., Franz, F., Auwärter, V., & Stove, C. P. (2016). Detection and activity profiling of synthetic cannabinoids and their metabolites with a newly developed bioassay. *Analytical chemistry*, 88(23), 11476-11485. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.analchem.6b02600>
- (28) Kostyukevich, Y., Efremov, D., Ionov, V., Kukaev, E., & Nikolaev, E. (2017). Remote detection of explosives using field asymmetric ion mobility spectrometer installed on multicopter. *Journal of Mass Spectrometry*, 52(11), 777-782. <https://doi.org/10.1002/jms.3980>
- (29) Ormel, J., Kessler, R. C., & Schoevers, R. (2019). Depression: more treatment but no drop in prevalence: how effective is treatment? And can we do better?. *Current opinion in psychiatry*, 32(4), 348-354. https://journals.lww.com/co-psychiatry/abstract/2019/07000/depression_more_treatment_but_no_drop_in.15.aspx
- (30) Dragan, A. M., Feier, B. G., Tertiş, M., Bodoki, E., Truta, F., Ştefan, M. G., ... & Cristea, C. (2023). Forensic Analysis of Synthetic Cathinones on Nanomaterials-Based Platforms: Chemometric-Assisted Voltametric and UPLC-MS/MS Investigation. *Nanomaterials*, 13(17), 2393. <https://doi.org/10.3390/nano13172393>
- (31) Melo, L. M., Arantes, L. C., Schaffel, I. F., Aranha, L. M., Conceição, N. S., Lima, C. D., ... & Dos Santos, W. T. (2023). Electrochemical detection of mephedrone using a graphene screen-printed electrode: a new sensitive and selective approach to identify synthetic

cathinones in forensic analysis. *Analyst*, 148(7), 1552-1561.
<https://doi.org/10.1039/D3AN00065F>

- (32) Williams, S. F., Stokes, R., Tang, P. L., & Blanco-Rodriguez, A. M. (2023). Detection & identification of hazardous narcotics and new psychoactive substances using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). *Analytical Methods*, 15(26), 3225-3232. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2023/ay/d3ay00766a>
- (33) Fabregat-Safont, D., Felis-Brittes, D., Mata-Pesquera, M., Sancho, J. V., Hernandez, F., & Ibanez, M. (2020). Direct and fast screening of new psychoactive substances using medical swabs and atmospheric solids analysis probe triple quadrupole with data-dependent acquisition. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 31(7), 1610-1614. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jasms.0c00112>
- (34) Ferrari Júnior, E., & Caldas, E. D. (2022). Determination of new psychoactive substances and other drugs in postmortem blood and urine by UHPLC–MS/MS: Method validation and analysis of forensic samples. *Forensic toxicology*, 1-14. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11419-021-00600-y>
- (35) Pospíšilová, E., Paškanová, N., Kuchař, M., & Shishkanova, T. V. (2023). Potentiometric determination of mephedrone in oral fluids with ion-selective membranes. *Electroanalysis*, 35(6), e202200468. <https://doi.org/10.1002/elan.202200468>
- (36) Prete, M. C., Swain, G. M., Cruz, A. C. G., Segatelli, M. G., & Tarley, C. R. T. (2023). Performance of new nanocomposites based on graphene-grafted-poly (itaconic acid-co-TRIM) via photoiniferter, thermal vinyl functionalization, and physical mixture as electrochemical sensing platforms for illicit drug determination. *Electrochimica Acta*, 462, 142797. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2023.142797>
- (37) Barone, R., Pelletti, G., Giorgetti, A., Mohamed, S., Pascali, J. P., Sablone, S., ... & Pelotti, S. (2024). Validation and application of a method for the quantification of 137 drugs of abuse and new psychoactive substances in hair. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 243, 116054. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2024.116054>
- (38) Melo, L. M., Arantes, L. C., Pimentel, D. M., Macedo, A. A., Verly, R. M., Gil, E. S., & dos Santos, W. T. (2023). Electrochemistry of the synthetic tryptamine 5-MeO-MiPT at glassy carbon and screen-printed electrodes: a rapid and simple screening method for application in forensic analysis. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 393, 134183. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2023.134183>
- (39) Jiroušková, E., Čabala, R., & Sokolová, R. (2023). Voltammetric study of new psychoactive substance 3-fluorophenmetrazine. *Electrochemical Science Advances*, 3(5), e2100223. <https://doi.org/10.1002/elsa.202100223>
- (40) Barrabeitg, G. L. (2016). NUEVAS SUSTANCIAS PSICOACTIVAS.“LAS DROGAS EMERGENTES”. https://www.researchgate.net/profile/Ph-D-Gabriel-Lajus-Barrabeitg/publication/360004620_Nuevas_Sustancias_Psicoactivas_Las_Drogas_Emerg

[entes/links/625b6f29709c5c2adb822381/Nuevas-Sustancias-Psicoactivas-Las-Drogas-Emergentes.pdf](https://www.elsevier.com/links/625b6f29709c5c2adb822381/Nuevas-Sustancias-Psicoactivas-Las-Drogas-Emergentes.pdf)

- (41) El País. (2024, junio 11). *La UE alerta sobre el uso de los nitacenos, una droga sintética más potente que el fentanilo*. <https://elpais.com/sociedad/2024-06-11/la-ue-alerta-sobre-el-uso-de-los-nitacenos-una-droga-sintetica-mas-potente-que-el-fentanilo.html>
- (42) European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction [EMCDDA]. (2024). *European Drug Report 2024: New psychoactive substances*. https://euda.europa.eu/publications/european-drug-report/2024/new-psychoactive-substances_es
- (43) González-Hernández, J. (2023). Drogas emergentes: detección mediante sensores electroquímicos. *Revista Colombiana de Química*, 52(1), 25-41. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v52n1.108752>
- (44) Yang, Y., Liu, D., Hua, Z., Xu, P., Wang, Y., Di, B., ... & Su, M. (2023). Machine learning-assisted rapid screening of four types of new psychoactive substances in drug seizures. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 63(3), 815-825. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jcim.2c01342>
- (45) Gerona, R. R., & French, D. (2022). Drug testing in the era of new psychoactive substances. *Advances in Clinical Chemistry*, 111, 217-263. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2022.08.001>
- (46) UNODC. United Nations Office on Drugs and Crime. (2023). *World Drug Report 2023*. <https://www.unodc.org/LSS/Announcement/Details/883252db-195d-499d-b0a4-bd35023d25a4>
- (47) Mastrogianni, O., Orfanidis, A., Brousa, E., Kevrekidis, D. P., Zagelidou, H., & Raikos, N. (2023). Development and validation of an ultra-performance liquid chromatography–tandem mass spectrometric method for the determination of 25 psychoactive drugs in cerumen and its application to real postmortem samples. *Forensic Toxicology*, 41(1), 94-104. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11419-022-00640-y>
- (48) Rovira, D. (2016). *Verificación de un método analítico para detectar simultáneamente cocaína, sus metabolitos y 17 drogas de abuso en orina por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10906/81091>
- (49) Grisales, M. C., & Mena, E. V. (2015). Validación de un método bioanalítico para la determinación de opiáceos, opioides y sus metabolitos en muestras de interés forense, por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 27(1), 89-97. <https://doi.org/10.33975/riuuq.vol27n1.44>
- (50) Soria, M. L. (2018). Conducción bajo la influencia de las nuevas sustancias psicoactivas. *Revista Española de Medicina Legal*, 44(4), 169-175. <https://doi.org/10.1016/j.reml.2017.11.001>

- (51) Han, Z., Liu, H., Meng, J., Yang, L., Liu, J., & Liu, J. (2015). Portable kit for identification and detection of drugs in human urine using surface-enhanced Raman spectroscopy. *Analytical chemistry*, 87(18), 9500-9506. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.analchem.5b02899>
- (52) Amin, M. O., Matroodi, F., Al-Hetlani, E., Rossi, B., & Lednev, I. K. (2025). Deep ultraviolet Raman spectroscopic analysis of antihistamine drugs in oral fluid for forensic purposes. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 329, 125595. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.125595>
- (53) Alpuché, R. M., Vyas, B., & Lednev, I. K. (2025). Flashforward: The Current and Future Applications of Vibrational Spectroscopy for Forensic Purposes. *Journal of Raman Spectroscopy*, 56(3), 193-206. <https://doi.org/10.1002/jrs.6750>
- (54) Mitu, B., Trojan, V., Hrib, R., & Halámková, L. (2025). Attenuated total reflection Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) analysis of human nails: Implications for age determination in forensics. *Journal of Forensic Sciences*, 70(1), 150-160. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15641>
- (55) Dickler, H. M., Weber, A. R., & Lednev, I. K. (2024). Discrimination Between Human and Animal Blood Using Raman Spectroscopy and a Self-Reference Algorithm for Forensic Purposes: Method Expansion and Validation. *Applied Spectroscopy Practica*, 2(2), 27551857241252175. <https://doi.org/10.1177/2755185724125217>
- (56) Weber, A., Wójtowicz, A., Wietecha-Posłuszny, R., & Lednev, I. K. (2024). Raman spectroscopy for the time since deposition estimation of a menstrual bloodstain. *Sensors*, 24(11), 3262. <https://doi.org/10.3390/s24113262>
- (57) Haertelt, M., Flores, Y. V., Ulrich, C., & Schnürer, F. (2024, June). Laser-based infrared sensor for fast and non-contact detection and identification of forensic traces in crime scene investigations. In *Chemical, Biological, Radiological, Nuclear, and Explosives (CBRNE) Sensing XXV* (Vol. 13056, p. 1305605). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3014160>
- (58) Foli, L. P., Hespanhol, M. C., Cruz, K. A., & Pasquini, C. (2024). Miniaturized Near-Infrared spectrophotometers in forensic analytical science– a critical review. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 124297. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.124297>
- (59) Laposchan, S., Kranenburg, R. F., & van Asten, A. C. (2022). Impurities, adulterants and cutting agents in cocaine as potential candidates for retrospective mining of GC-MS data. *Science & Justice*, 62(1), 60-75. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.11.004>
- (60) Mercieca, G., Odoardi, S., Cassar, M., & Rossi, S. S. (2018). Rapid and simple procedure for the determination of cathinones, amphetamine-like stimulants and other new psychoactive substances in blood and urine by GC-MS. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 149, 494-501. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.11.024>

- (61) Zuway, K. Y. (2018). *Development of new methods of detection and quantification of controlled and new psychoactive substances (NPS) using liquid chromatography-amperometric detection (LC-AD)* (Doctoral dissertation, Manchester Metropolitan University). <https://e-space.mmu.ac.uk/id/eprint/622108>
- (62) Maas, A., Sydow, K., Madea, B., & Hess, C. (2017). Separation of ortho, meta and para isomers of methylmethcathinone (MMC) and methylethcathinone (MEC) using LC-ESI-MS/MS: Application to forensic serum samples. *Journal of Chromatography B*, 1051, 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2017.01.046>
- (63) Cui, X., Lian, R., Chen, J., Ni, C., Liang, C., Chen, G., & Zhang, Y. (2019). Source identification of heroin by rapid detection of organic impurities using direct analysis in real time with high-resolution mass spectrometry and multivariate statistical analysis. *Microchemical Journal*, 147, 121-126. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.014>
- (64) Brown, K., & Dennany, L. (2022). Electrochemiluminescence sensors and forensic investigations: a viable technique for drug detection?. *Pure and Applied Chemistry*, 94(5), 535-545. <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/pac-2021-1204/html>
- (65) Diana Lima, C., Arantes, L. C., Machado, L. L., Paixão, T. R., & Dos Santos, W. T. (2024). Synthetic Cathinones' Comprehensive Screening and Classification by Voltammetric and Chemometric Analyses: A Powerful Method for On-Site Forensic Applications. *Analytical Chemistry*, 96(44), 17746-17753. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.analchem.4c04059>
- (66) Lima, C. D., Couto, R. A., Arantes, L. C., Marinho, P. A., Pimentel, D. M., Quinaz, M. B., ... & dos Santos, W. T. (2020). Electrochemical detection of the synthetic cathinone 3, 4-methylenedioxypropylvalerone using carbon screen-printed electrodes: A fast, simple and sensitive screening method for forensic samples. *Electrochimica Acta*, 354, 136728. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.136728>
- (67) G. de Campos, E., Krotulski, A. J., S. De Martinis, B., & Costa, J. L. (2022). Identification of synthetic cathinones in seized materials: A review of analytical strategies applied in forensic chemistry. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Forensic Science*, 4(5), e1455. <https://doi.org/10.1002/wfs2.1455>
- (68) Klimuntowski, M., Alam, M. M., Singh, G., & Howlader, M. M. (2020). Electrochemical sensing of cannabinoids in biofluids: A noninvasive tool for drug detection. *ACS sensors*, 5(3), 620-636. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acssensors.9b02390>
- (69) Santos, I. C., Maia, D., Dinis-Oliveira, R. J., & Barbosa, D. J. (2024). New Psychoactive Substances: Health and Legal Challenges. *Psychoactives*, 3(2), 285-302. <https://doi.org/10.3390/psychoactives3020018>

- (70) Fakayode, S. O., Brady, P. N., Grant, C., Fernand Narcisse, V., Rosado Flores, P., Lisse, C. H., & Bwambok, D. K. (2024). Electrochemical Sensors, Biosensors, and Optical Sensors for the Detection of Opioids and Their Analogs: Pharmaceutical, Clinical, and Forensic Applications. *Chemosensors*, 12(4), 58. <https://doi.org/10.3390/chemosensors12040058>
- (71) Bano, H., Suleman, S., Anzar, N., Parvez, S., & Narang, J. (2024). A review on advancement of biosensors for the detection of amphetamine drug. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 104(20), 9330-9358. <https://doi.org/10.1080/03067319.2023.2229747>
- (72) Veg, E., Hashmi, K., Raza, S., Joshi, S., Rahman Khan, A., & Khan, T. (2025). The Role of Nanomaterials in Diagnosis and Targeted Drug Delivery. *Chemistry & Biodiversity*, 22(1), e202401581. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202401581>
- (73) Casal, R. J. M. (2022). *Use and Misuse of Medicines with Psychoactive Effects in Portugal* (Master's thesis, Universidade de Lisboa (Portugal)). <https://www.proquest.com/openview/df6c238936d61e643c94679174a476b0/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar>
- (74) Predescu, I. A., Jîjje, A. R., Pătrașcu, D., Pasc, A. L. V., Piroș, E. L., Trandafirescu, C., ... & Moacă, E. A. (2025). Unveiling the Complexities of Medications, Substance Abuse, and Plants for Recreational and Narcotic Purposes: An In-Depth Analysis. *Pharmacy*, 13(1), 7. <https://doi.org/10.3390/pharmacy13010007>