

Las técnicas instrumentales en el análisis de indicios de origen inorgánico como parte de una investigación forense

Instrumental techniques in the analysis of evidence of inorganic origin as part of a forensic investigation

Hugo Ivan Adriano Villa¹

Recibido: 5 de marzo 2022

Aceptado: 15 de abril 2022

Publicado: 30 de junio 2022

Resumen

La investigación forense presenta una evolución vertiginosa conforme surgen nuevas modalidades del delito que le permite ir a la vanguardia, siendo un aporte fundamental para la administración de la justicia. En la actualidad, prácticamente, de todos los indicios analizados se obtienen conclusiones determinantes sobre su relación directa o indirecta con el hecho investigado. Esto es posible ante el avance de las tecnologías que reemplazó a las pruebas colorimétricas por las técnicas instrumentales. El paso del tiempo y los resultados obtenidos han evidenciado la eficiencia de las técnicas instrumentales pese a sus limitaciones. Entre las técnicas utilizadas se encuentra aquella que permite el análisis de los indicios de origen inorgánico, como los residuos de disparo, mediante microscopía electrónica de barrido con energía dispersa de rayos X (SEM/EDS) que emiten resultados que sirven de elementos de convicción en el esclarecimiento de delitos en el cual se usaron armas de fuego.

Palabras clave: antimonio; arma de fuego; bario; cápsula fulminante; guantes; microscopio electrónico de barrido; plomo; residuo de disparo.

Abstract

Forensic investigation is evolving at a dizzying pace as new types of crime emerge, allowing it to be at the forefront and be a fundamental contribution to the administration of justice. At present, practically all the evidence analyzed yields decisive conclusions about its direct or indirect relationship with the investigated fact. This is possible due to the advance of technologies that replaced colorimetric tests with instrumental relationship with the investigated fact. This is possible due to the advance of technologies that replaced

¹ Sargento segundo de la Policía Nacional, tecnólogo en Criminalística, licenciado en Seguridad Pública y Ciudadana, perito en Documentología, Balística, Identidad Física Humana, especialista en análisis de residuos de disparo mediante microscopía electrónica de barrido, formación de formadores MDT-5114-CCL-350123. hiadrianov@gmail.com. <https://www.linkedin.com/feed/>  <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-5499-6526>.

colorimetric tests with instrumental techniques. The passage of time and the results obtained have shown the efficiency of instrumental techniques despite their limitations. Among the techniques used is the one that allows the analysis of evidence of inorganic origin, such as gunshot residues, by means of scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray (SEM/EDS), which yields results that serve as elements of conviction in the clarification of crimes in which firearms were used

Keywords: antimony; firearm; barium; barium; barium; barium capsule; gloves; scanning electron microscope; lead; gunshot residue; gunshot residue.

Introducción

Entre los avances tecnológicos que han revolucionado a la investigación científica del delito se encuentran las técnicas instrumentales, entre ellas, la microscopía electrónica de barrido (MEB) utilizada para el análisis de micro indicios de origen inorgánico. En la actualidad, los microscopios de barrido son los equipos de mayor funcionalidad en el ámbito forense ya que permiten la observación de los detalles más pequeños y caracterizar superficialmente a los indicios que se puedan localizar en la escena del crimen, sean estos de origen orgánico o inorgánico (Avalos 2006). Respecto al funcionamiento de este tipo de microscopio:

Este instrumento permite observar la topografía de una muestra utilizando los electrones secundarios producidos por la interacción de un haz de electrones de alta energía con la muestra... Los electrones acelerados salen del cañón, y son enfocados por las lentes condensadora y objetiva, cuya función es reducir la imagen del filamento, de manera que incida en la muestra un haz de electrones lo más pequeño posible (para así tener una mejor resolución). En las bobinas deflectoras se produce un campo magnético por una variación de voltaje que defleca este fino haz de electrones sobre la

muestra, realizando un barrido punto por punto y línea por línea (Avalos 2006)². Traducción propia.

La capacidad de este microscopio es tal que permite observar una partícula de 2 micras a la dimensión de un estadio olímpico sin que pierda sus características intrínsecas. Entre otras ventajas, las técnicas instrumentales no son destructivas. Sin embargo, como todo análisis basado en procedimientos técnico-científicos que buscan mayor exactitud y precisión, el proceso es complejo, pero no imposible. La MEB arroja un resultado objetivo el cual, claro está, no puede ser utilizado como único elemento probatorio del suceso que se investiga, sino, como una parte de un conjunto de elementos de convicción. Según Juan Rodríguez (2019, Pág. 10) estos serán los

[...] medios de prueba utilizados por los órganos del poder público encargados de la persecución penal en la identificación, colección e incorporación al proceso de los distintos elementos de convicción que posteriormente una vez cumplidas las formalidades de ley se convertirán en el acervo probatorio a debatir en juicio y que será apreciado, ponderado y valorado por el juez como rector del proceso.

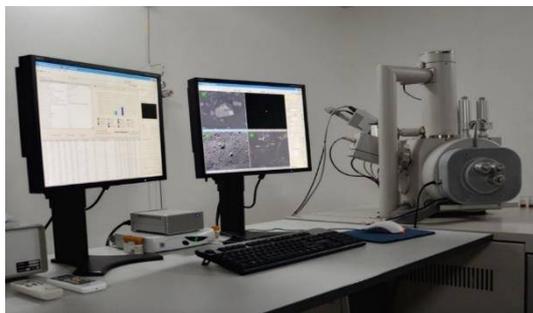
En Ecuador el uso de estas técnicas instrumentales data del año 2010 con la adquisición del microscopio electrónico de barrido (marca FEI, modelo Quanta 400) para en el Laboratorio de Criminalística y Ciencias Forenses de la Policía Nacional. En la actualidad, el Servicio Nacional de Medicina legal y Ciencias Forenses está a cargo de este microscopio que sigue sirviendo de apoyo en los análisis forenses e investigaciones.

² Que es y cómo funciona el microscopio electrónico de barrido. (s. f.). Equipos y laboratorio de Colombia. <http://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo->

[ampliado/que-es-y-como-funciona-el-microscopio-electronico-de-barrido](http://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/que-es-y-como-funciona-el-microscopio-electronico-de-barrido)

Imagen 1

Microscopio electrónico de barrido (marca FEI, modelo Quanta 400)



Fuente: Laboratorio de Criminalística del Distrito Metropolitano de Quito, grupo operativo Evidencia Traza.

Elaboración: por el autor

En Ecuador hay un incremento de los asesinatos con armas de fuego que, obedecen, en su mayoría, al narcotráfico. De acuerdo a las cifras, entre enero y agosto de 2018 hubo 301 homicidios con armas de fuego, en 2019 y 2020 fueron 413 y 459 casos, respectivamente, en el mismo período de estudio. Para 2021 se registraron 1007 casos y hasta agosto de 2022 van 1427 muertes violentas de las cuales el 71 % corresponde por arma de fuego (Primicias 2021). Por tanto, resulta necesario que las instituciones encargadas de la investigación forense estén a la vanguardia de los conocimientos y equipos tecnológicos que ayudan a resolver cada caso en particular.

Entre las responsabilidades periciales en los casos con armas de fuego se encuentra el análisis de los indicios y micro indicios de origen inorgánico que realiza el MEB que ayuda en la búsqueda y detección de partículas características de residuos de disparo o *gunshot residue* (GSR). Este aporte ha sido evidente. De los resultados orientativos de las pruebas colorimétricas se pasó a las conclusiones determinantes del MEB con tan solo una partícula característica de GSR. La incumbencia pericial ya no se enfoca en los restos de la pólvora deflagrada, sino, en los componentes químicos que tienen por origen la capsula fulminante de un cartucho para

arma de fuego que se compone de plomo (Pb), bario (Ba) y antimonio (Sb).

Estos elementos químicos, luego de producirse el disparo, son expulsados con los restos de la pólvora deflagrada que resultan de la aleación del cartucho y otros. La temperatura a la que se somete el interior de la recámara llega a los 300°C. Una vez, en el ambiente, y a efectos de la temperatura exterior, estos elementos tienen la propiedad de fundirse en una sola partícula que conforman el GSR, es decir, una aleación de Pb, Ba, Sb y otros elementos.

El análisis de estos micro indicios, mediante técnicas instrumentales, se basa en la norma ASTM-E1588-20 “Práctica estándar para el análisis de residuos de disparos mediante microscopía electrónica de barrido/espectrometría de rayos X de dispersión de energía” en la cual se estandariza los parámetros y condiciones, para este tipo de técnicas periciales. Ahora bien, esta misma norma señala que,

Este estándar no puede reemplazar el conocimiento, las destrezas o las habilidades adquiridas a través de la educación, la capacitación y la experiencia (Práctica E2917), y debe ser utilizado junto con el juicio profesional por personas con tales conocimientos, destrezas y habilidades específicos de la disciplina (ASTM Internacional 2022, párrafo 4. Traducción propia).

Para demostrar la fiabilidad de esta técnica se realizaron varios ensayos experimentales³ que permiten establecer si, ante el uso de equipos de protección, tales como, como guantes de látex en las manos de un tirador en el accionamiento de un arma de fuego, existe la posibilidad de que partículas o aleaciones producto del disparo entren en contacto con la superficie corporal. El ensayo experimental se basó en controles positivos en los cuales se analizaron dispositivos con micro indicios fijados en la zona dorsal de los dedos índice y pulgar de las

³ El ensayo experimental se realizó tomando por orientación el estudio experimental de Isabel Mata Lemus, química farmacéutica de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

manos derecha e izquierda de 5 personas que accionaron cada una, armas de fuego de diferente tipo y calibre. Entre las armas utilizadas se encuentran: una pistola, marca Colt, calibre 9 mm; un revolver, marca Taurus, calibre .38; una escopeta de fabricación artesanal, calibre 12, con cartuchería, marca Santa Bárbara

Imagen 2

Proceso de fijación (recolección) de microindicios



Fuente: Jefatura Subzonal de Criminalística Chimborazo

Elaboración por el autor

Se examinó un total de 30 dispositivos con micro indicios que corresponden a los disparos realizados por 5 personas. Cada persona realizó un disparo por cada una de las armas: 3 armas en total para 3 disparos por persona. Los micro indicios fueron recolectados inmediatamente, 10 y 15 minutos después de haber accionado las armas de fuego, tanto en la mano derecha como en la izquierda. A diferencia de los métodos colorimétricos, este proceso no es invasivo y, por ende, no afecta la integridad física de la persona sometida al muestreo o fijación de micro indicios. Los disparos fueron realizados en ambientes controlados en el área del recuperador balístico del Laboratorio de Criminalística y Ciencias Forenses de la Zona 8.

Metodología

Materiales

- 15 kits con 2 dispositivos para fijación de micro indicios con lámina de carbono y propiedad adherente.

- Guantes de látex o quirúrgicos de diferentes marcas y calidad.
- Armas de fuego: tipo pistola, revólver y escopeta.
- Cartuchería de proyectil único, calibre 9 mm y .38.
- Cartuchería de proyectil múltiple, calibre 12.
- Microscopio electrónico de barrido (marca FEI, modelo Quanta 400).
- Software para detección de residuos de disparo (*Gun Shot Residue*).
- Recuperador balístico para armas cortas y largas.

Resultados

De los micro indicios se identificó la composición química, morfología, tamaño y brillo de las partículas detectadas y se cuantificaron considerando el tipo y calibre del arma de fuego. En todos los disparos realizados se encontraron partículas de origen inorgánico, siendo preponderantes las características de GSR en un rango de 22 campos de análisis (12,5 mm) como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1

Partículas características de residuos de disparo localizadas en la muestra de micro indicios

Tipo de arma	Tiempo de recolección	Número de partículas encontradas	Campos analizados
Pistola, marca Colt, calibre 9 mm	Inmediatamente	15	22
Revolver, marca Taurus, calibre .38	10 minutos después	25	25
Escopeta, de fabricación artesanal, calibre 12	15 minutos después	5	55

Fuente: Laboratorio de Criminalística del Distrito Metropolitano de Quito, grupo operativo Evidencia Traza.

Elaboración: por el autor

Imagen 3

Elementos localizados en el dispositivo utilizado para la fijación de microindicios en región anatómica

```
Laboratory :Criminalística - Policía Nacional del Ecuador
Analyst :Chop, Ivan Adriano
Case - Job: IDF - EVIDENCIAS          KIT. S/N   Stub:16

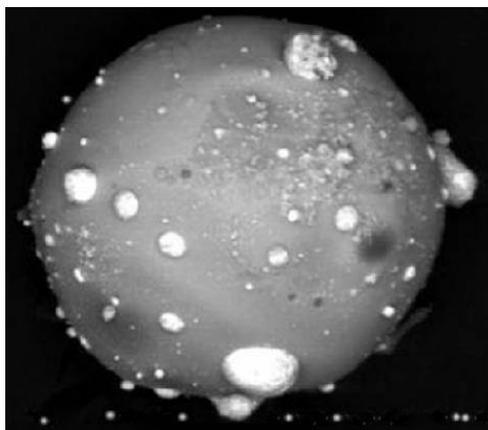
SUMMARY OF PARTICLES FOUND
Search Geometry:                      RECTANGULAR
Search Type:                            SEQUENTIAL
Search Matrix Density:                  X# 5 Y# 5
Number of Fields in Search Matrix:      72
Search Size (mm):                      X# 8.19 Y# 8.01
Search Area (mm):                      82.63
Number of Fields searched:              71
Percent of Search Area searched:        8.64
Reason for Stopping Run:                Max. Time/Stub 45
SUMMARY OF PARTICLES FOUND
Number of SbBaSb:                       15
Number of BaSb:                          2
Number of Sb:                             1
Number of SbBa:                          1
Number of Pb:                             12
Number of BaAl:                           17
Number of BaCaSb:                        1
Number of BaS:                             8
Number of Ti:                             23
Number of Fe:                             191
Number of Cu:                             13
Number of Zn:                             5
Number of Ni:                             2
Number of FeCuNi:                        4
Number of SiPbSb:                        1
Number of SbBa:                           1
Number of CaSbBa:                         5
Number of FeCe:                           10
Number of SiFeCe:                         3
Number of AlSiFe:                         14
TOTAL Number of Particles :              331
```

Fuente: Laboratorio de Criminalística del Distrito Metropolitano de Quito, grupo operativo Evidencia Traza.

Elaboración: por el autor

Micrografía 1

Partícula de GSR con la caracterización física y morfológica obtenida.

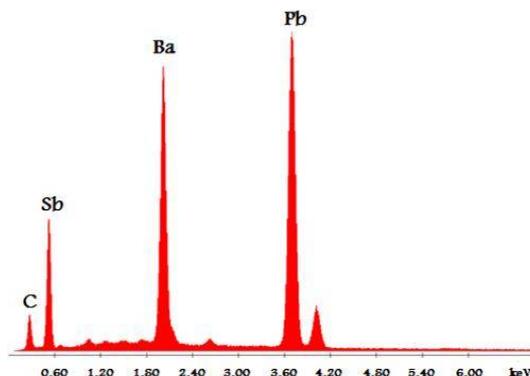


Fuente: Laboratorio de Criminalística del Distrito Metropolitano de Quito, grupo operativo Evidencia Traza.

Elaboración: por el autor

Espectro 1

Espectrograma de los elementos correspondientes a un residuo característico de disparo compuesto por plomo, bario y antimonio



Fuente: Laboratorio de Criminalística del Distrito Metropolitano de Quito, grupo operativo Evidencia Traza.

Elaboración: por el autor

En cada una de las partículas encontradas se pudo identificar que presentan la composición química, morfología, tamaño y brillo y características de un residuo de disparo.

En el ensayo experimental también se evidenciaron las variables que pueden afectar al número de partículas encontradas durante el muestreo de micro indicios, entre ellos, el tiempo transcurrido entre el disparo y hasta el procedimiento de recolección. Entre las variables se encuentran las actividades que el tirador pudo realizar en el momento del disparo, el procedimiento mismo de fijación de micro indicios – respecto a las condiciones en la que se encontraba la superficie corporal – el lugar y las condiciones en la que se realizó el disparo.

Definiciones

Arma de fuego: es un dispositivo que al accionarse lanza uno o varios proyectiles (dependiendo del tipo de cartucho) sobre un objetivo o blanco previsto. Para esto se aprovecha la expansión de los gases como producto de la deflagración o combustión de las diversas sustancias o compuestos químicos como la pólvora en sus diferentes presentaciones.

Cápsula fulminante: también conocida como pistón, es la parte de un cartucho de arma de fuego que tiene por finalidad iniciar el proceso de deflagración de la pólvora como parte del ciclo del disparo.

Residuo de disparo. Son pequeñas esferas con una morfología irregular, que se forma por la fusión de metales, óxidos metálicos fundidos y otros compuestos de la pólvora y básicamente del fulminante de un cartucho de tipo balístico que se produce al accionar un arma de fuego y realizarse un disparo.

GSR. Del inglés gunshot residues, que, en español, quiere decir residuo de disparo.

Guantes: equipo de protección personal que cubre y protege la mano y, según su utilidad, presenta características propias que van desde una envoltura para cubrir cada uno de los dedos y parte del brazo. Pueden estar fabricados de poliuretano, látex, nitrilo y otros materiales.

MEB: microscopía electrónica de barrido.

STUB: consiste en 2 dispositivos cilíndricos con base plástica color marrón y tapa transparente en cuyo interior se encuentra una ñeeta de aluminio de forma circular adherida a la lámina

Residuo de disparo: conocido como gunshot residues (GSR) son pequeñas esferas con una morfología irregular que se forma por la fusión de metales, óxidos metálicos fundidos y otros compuestos de la pólvora y del fulminante de un cartucho de tipo balístico. Este residuo se produce al accionar un arma de fuego y realizar un disparo.

Conclusiones

- Las técnicas instrumentales para analizar los indicios de origen inorgánico constituyen un aporte de las tecnologías a la investigación forense. De los resultados orientativos que aportaban los métodos colorimétricos se pasó a las conclusiones determinantes.
- La microscopía electrónica de barrido es la técnica instrumental a la vanguardia en la investigación forense. Tiene entre sus

fines periciales el estudio de los dispositivos con micro indicios que corresponden a las partículas características de residuos de disparos.

- La localización de las partículas características de GSR en la muestra de micro indicios recolectada y analizada mediante MEB revelan con certeza que, la superficie se encontraba en el ambiente de la producción de un disparo de arma de fuego, sea porque se accionó el arma o por transferencia directa.

Pero, ¿qué sucede con los GSR si se utilizan guantes de látex o quirúrgicos? La alta temperatura de las partículas al momento de realizar el disparo permite que varias de estas partículas atraviesen la estructura del guante y se depositan en la piel del tirador. La utilización de guantes de látex o quirúrgicos no descarta la presencia de GSR en la zona de la recolección siempre y cuando se cumplan las condiciones ideales de muestreo (fijación) y la calidad del accesorio (guante).

Bibliografía

- Adriano, Ivan. (2019). *La microscopía electrónica de barrido en la investigación forense – el análisis de residuos de disparo*. Riobamba. Editorial: Gráficas Basantes.
- Albarracín, Virginia (2019). *Informe pericial: determinación de residuos de disparos de armas de Fuego por MEB-EDS*. Buenos Aires: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
- Amaya, Sol. 2015. Cómo es la técnica para determinar si hay residuos de disparos en una persona. *La Nación*, 20 de enero de 2015. Acceso 22 de septiembre de 2022. <https://n9.cl/sdcyv>
- ASTM International (2022). *Standard Practice for Gunshot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectrometry*. Acceso 22 de septiembre de 2022. <https://www.astm.org/e1588-20.html>
- Avalos, Tatiana. 2006. *Scanning Electron Microscopy*. Mexico: Centro de Ciencias de la Materia Condensada de la