

## **Mejoras de la Espectroscopia Raman y su aplicación en el análisis de manchas de sangre en la escena del crimen.**

**L. J. García Maza**

[ljohanagarcia@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:ljohanagarcia@mail.uniatlantico.edu.co)

*Universidad Del Atlántico, Facultad de Ciencias básicas, Semillero de Química Biomédica y molecular, Programa de Química, Puerto Colombia, Atlántico (I)*

### **Resumen**

El análisis a base del conocimiento científico de algunos fluidos presentes en la escena del crimen ha demostrado ser crucial al momento de dar un veredicto final sobre lo ocurrido, dentro de estos se destaca las manchas de sangre; muestra fundamental por su alto contenido en información genética y la simplicidad de su estudio. Se conocen una variedad de métodos estándares para examinar estos indicios como la Quimioluminiscencia, PCR y electroforesis, sin embargo, no todos cumplen con las expectativas de un resultado íntegro, por lo que se hace necesario la implementación de una técnica versátil como la espectroscopia Raman, o con mayor eficiencia una técnica avanzada de Raman.

**Palabras Clave:** Efecto Raman, Fluido biológico, identificación, técnicas avanzadas.

### **Abstract**

The analysis based on scientific knowledge of some fluids present at the crime scene has proven to be crucial at the time of giving a final verdict on what happened, within these stands out the blood stains; fundamental sample for its high content of genetic information and the simplicity of its study. A variety of standard methods are known to examine these traces such as chemiluminescence, PCR and electrophoresis, however, not all meet the expectations of a complete result, so it is necessary to implement a versatile technique such as Raman spectroscopy, or more efficiently and advanced Raman technique.

**Keywords:** raman effect, Biological fluid, identification, advanced techniques.

### **Tabla de contenido**

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. Introducción</b>   | <b>2</b> |
| <b>2. Espectroscopia Raman aplicado al análisis de manchas de sangre</b>   | <b>3</b> |
| 2.1 Mejoras de la Espectroscopia Raman en la ciencia forense.....          | 3        |
| 2.2 Avances de la Espectroscopia Raman en el análisis de manchas de sangre | 4        |
| <b>3. Conclusión</b>   | <b>6</b> |
| <b>4. Referencias</b>  | <b>7</b> |

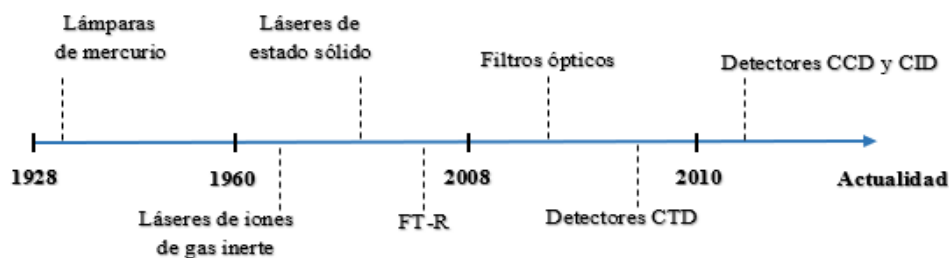
## 1. INTRODUCCIÓN

En 1894, el juez Hans Gross planteó que la resolución de los crímenes debía ser mediante la intervención de los conocimientos científicos, haciendo a un lado la intuición y las suposiciones. Desde entonces las ciencias forenses han sido la columna vertebral en la resolución de crímenes y el esclarecimiento de la verdad. El aspecto que más se destaca en la investigación forense es el análisis de la escena del crimen al conservar vestigios de las acciones realizadas, el análisis de estos permite una reconstrucción total o parcial de los hechos. Es por ello que la preservación, manipulación e integridad física de estos vestigios son de suma importancia para la correcta resolución del crimen. Las pruebas físicas pueden ser cualquier cosa, desde partículas microscópicas hasta objetos enormes que tuvieron origen en la perpetuación del crimen [1][2]. La sangre es uno de los fluidos corporales más encontrados en las escenas del crimen y, el análisis de las manchas de sangre en este contribuye de manera significativa en la reconstrucción de la dinámica de los acontecimientos violentos [3]. Las circunstancias de los diferentes actos delictivos a menudo producen una variedad de manchas de sangre, las cuales cuando se evalúan pueden generar información relevante para el investigador [4][5], es por eso que se ha vuelto imperativo el estudio de diversos métodos para el análisis de manchas de sangre en casos forenses, en el que se destaca la espectroscopia Raman, al demostrar ser una técnica optima y confiable para la identificación de este fluido [6][7][8]. Por tanto, en esta ocasión se atribuyen las mejoras que ha tenido la espectroscopia Raman a lo largo de los años y su impacto en el campo de las ciencias forenses para el análisis de manchas de sangre bajo la variedad de circunstancias que presenta este tipo de muestra en la escena de un crimen.

## 2. ESPECTROSCOPIA RAMAN APLICADO AL ANÁLISIS DE MANCHAS DE SANGRE

### 2.1 MEJORAS DE LA ESPECTROSCOPIA RAMAN EN LA CIENCIA FORENSE

Desde la invención del efecto Raman [9][10] hasta la actualidad, la espectroscopia Raman (**RS**) ha demostrado ser una técnica versátil [11][12] para el análisis de muestras en distintas áreas de la ciencia, en el cual se destaca el análisis de muestras en investigaciones forenses a partir del espectro obtenido y reconocimiento por comparativa con bases de datos de espectros y compuestos de referencia [13][14]. Esta variabilidad es atribuida a la técnica dado a que a lo largo de los años ha logrado derrumbar algunas barreras como lo son el requerimiento de varias horas de irradiación para consignar el espectro de una muestra [15][16], la restauración de los sistemas de detección [9][10] y la fuente de luz, entre otros, con lo que ha proporcionado la obtención de resultados más eficientes y con menos ruido para convertirse en un método más económico (**Fig. 2**) [13][17]. Así, se ha hecho fundamental la disposición de espectrómetros portátiles para suplir los grandes retos que abarca el área de la ciencia forense al enfrentarse a limitaciones como el tiempo de recolección, resolución y análisis del espectro de fluidos biológicos como la sangre en el lugar de los hechos [18][19].



**Figura 2.** Línea de tiempo del perfeccionamiento de la técnica. **FT-R:** Espectrómetro Raman por transformada de Fourier; **CTD, CCD y CID:** dispositivos de transferencia de carga, de carga acoplada y de inyección de carga, respectivamente [20][21][12].

A pesar de que existen otras técnicas para el análisis de manchas de sangre (por ejemplo, espectroscopia IR, MS, UV/VIS) [17][22][23], estas no cumplen con una análisis cualitativo y cuantitativo que la RS si ofrece [24][11]. Además de caracterizarse por ser compatible con una variabilidad de soluciones acuosas [25][17] y lograr la visualización de la composición molecular conservando la entereza de las manchas de sangre forenses [24][26][27]. Por tanto, algunos investigadores en el área de las ciencias forenses y sus

afines han enfocado sus esfuerzos a la resolución del espectro obtenido a partir del análisis de distintos fluidos biológicos, así como rastros de sangre secos dejados por un perpetrador o víctima en la escena del crimen. Dentro de las mejoras de la técnica de RS se destaca la aplicación de algunos métodos avanzados en el campo de la ciencia forense, como la espectroscopia Raman de superficie mejorada (**SERS**) [11][28] introduciendo una superficie nanoestructurada, la espectroscopia de resonancia Raman (**RRS**) [13] permitiendo detectar de manera sencilla las especies de interés en la muestra y la microscopia confocal Raman (**RCM**) [14] acoplándose a un microscopio óptico, entre otras (**Tabla 1**) [15].

**Tabla 1.** Características de las técnicas avanzadas de Raman en la aplicación a la ciencia forense.

| Técnica     | Ventajas en investigaciones forenses   |
|-------------|--|
| <b>SERS</b> | Amplifica el espectro obtenido de una muestra de sangre.                                 |
| <b>RRS</b>  | Simplicidad en los espectros de muestras complejas para el análisis de ácidos nucleicos. |
| <b>RCM</b>  | Resolución detallada de la composición molecular de tejidos.                             |

## 2.2 AVANCES DE LA ESPECTROSCOPIA RAMAN EN EL ANÁLISIS DE MANCHAS DE SANGRE

La espectroscopia Raman ha sido recientemente aplicada al análisis de fluidos biológicos (sangre, semen, orina y saliva) debido a que presenta diversas ventajas para la investigación de materiales biológicos, principalmente se describe a continuación la versatilidad de la técnica para el análisis de manchas de sangre.

En 2011, se presentó el reporte del análisis de rastros de manchas de sangre secas en la escena de un crimen por medio de la identificación de los picos característicos de cada uno de los componentes principales [29]: hemoglobina y sus derivados a 1000, 1368, 1542 y 1620  $\text{cm}^{-1}$ ; y los picos de la fibrina 967, 1248 y 1342  $\text{cm}^{-1}$ , lo que adicionalmente permitió asignar los grupos funcionales de estas estructuras como C – N, flexión N – H y estiramiento C – C con la ayuda de un análisis estadístico avanzado [30][31]. Así, se demostró que el método podía elucidar cualquier muestra de sangre humana y por comparativa diferenciarse con otros fluidos biológicos o sustancias artificiales [32].

La técnica de espectroscopia Raman es útil para identificar los picos característicos de los componentes principales de las manchas de sangre depositadas sobre distintas superficies claves en la escena del crimen como plásticos, utensilios de metal y paredes de yeso [33]. Además de ser capaz de diferenciar las intensidades de los picos entre días, meses o incluso años [34], debiéndose a que los picos encontrados de la oxihemoglobina presentan cambios espectrales relacionados con procesos bioquímicos cinéticos [35]. En adición a esto, algunos estudios concluyen que es posible predecir la edad correctamente de la mancha de sangre en un 70% de precisión en un periodo de 2 años luego del acto delictivo cometido [36]. También, se tienen avances acerca de la evaluación del método para la diferenciación entre interferentes ambientales y las manchas de sangre halladas en la escena del crimen [7]. Se demostró por medio de estudios [37] que la espectroscopia Raman no genera falsos positivos de interferentes ambientales de la sangre, al analizar veinticuatro sustancias que pueden llegar a clasificarse por algunas técnicas como sangre erróneamente y otras con composiciones distintas. Este estudio demostró que el uso de la técnica junto con métodos quimiométricos [38], los interferentes ambientales más comunes (tomates, ketchup y salsa para pasta) se pueden diferenciar con alta sensibilidad de veinticuatro sustancias, que habitualmente pueden parecerse a una mancha de sangre [39].

Se resalta la técnica avanzada SERS, la cual permite el análisis de muestras biológicas directamente sin ninguna interferencia o necesidad de extracción [40][41]. En 2014, se analizaron las diferencias en las bandas espectrales con el cambio de las condiciones experimentales en la preparación de muestra (Plasma vs Suero), teniendo la línea de Laser (514, 633 o 785 nm) y las nanopartículas (Oro y Plata) [42], logrando determinar que estas variaciones son significativas en los espectros Raman [43][44]. Con esta investigación se comprobó que los espectros son altamente dependientes de los sustratos (nanopartículas). Posteriormente, en 2016, se logró realizar la diferenciación de sangre humana y sangre no humana (rata, ratón, vaca, entre otros) con un espectrofotómetro Raman portátil, lo cual permitió crear un modelo de PCA para la discriminación entre los espectros Raman de sangre [45][46][47]. Adicionalmente la espectroscopia Raman también ha sido utilizada para determinar el tiempo transcurrido desde la deposición de la sangre, basándose en el cambio de las bandas espectrales [36].

Por tanto, la detección de manchas de sangre mediante la técnica de espectroscopia Raman presentan una variabilidad de ventajas frente a los métodos de detección convencionales [48] como la quimioluminiscencia [49][50], dado a las limitaciones al momento de determinar la naturaleza del rastro. No solo se ha hecho necesario la implementación de una técnica tan robusta como la descrita anteriormente por las limitaciones de otros métodos sino también a que las circunstancias de las escenas de un crimen son tan variantes y un solo error podría dar un veredicto equivoco acerca de la relación de las muestras entre la víctima y el sospechoso. Muchas veces estos sujetos envueltos en la escena pueden ser socios o conocidos con lo que el sospechoso puede dar una explicación de la presencia de la mancha de sangre de la víctima en su ropa por lo que el análisis de estas muestras presentara un valor probatorio relativamente bajo [51].

Por último, las mejoras a la espectroscopia Raman convencional para el análisis de manchas de sangre ha permitido la discriminación del tipo de sangre en humana y no humana, e incluso sin requerir previa preparación, por lo que agiliza el análisis de manchas de sangre hallados en la escena del crimen.

### 3. CONCLUSIONES

Aún se encuentra en estudio la implementación de sistemas de procesamiento de la espectrometría de señales Raman para el análisis de manchas de sangre hallados en la escena del crimen, con el fin de evitar fallas en la resolución e interferencias ambientales; para la obtención final de una herramienta portátil que agilice los resultados por parte del forense en el lugar de los hechos.

Por último, se siguen realizando investigaciones exhaustivas para establecer alguna de las técnicas avanzadas de Raman como un método estándar (Por ejemplo, SERS) en los laboratorios destinados al análisis forense, desde la elección de una nanopartícula que amplifique el espectro Raman hasta la reproducibilidad y estabilidad frente a las condiciones ambientales cambiantes.

### 4. REFERENCIAS

- [1] V. Sotelo *et al.*, “La ciencia resuelve crímenes. Los indicios biológicos son determinantes en la identificación de víctimas y victimarios,” *Teor. e Historiogr. \$h*

- [1] [texto Impr. / \$c Alejo Maldonado Gall., vol. 3, no. 3, pp. 54–57, 2009.
- [2] P. Kirk, *La escena del delito y las pruebas materiales. Sensibilización del personal no forense sobre su importancia.* 2009.
- [3] T. Bevel and R. M. Gardner, *Bloddstain pattern analysis.* London, 2003.
- [4] M. M. Sniegovski *et al.*, “Manchas de Sangre : en el Ámbito de la Cibercriminalidad Social,” 2017.
- [5] S. H. James, *Principles of bloodstain pattern analysis.* 2005.
- [6] H. G. M. Edwards, *Modern Raman spectroscopy—a practical approach.* Ewen Smith and Geoffrey Dent. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, 2005. Pp. 210. ISBN 0 471 49668 5 (cloth, hb); 0 471 49794 0 (pbk), vol. 36, no. 8. 2005.
- [7] R. Rosenblatt, L. Halámková, K. C. Doty, E. A. C. de Oliveira, and I. K. Lednev, “Raman spectroscopy for forensic bloodstain identification: Method validation vs. environmental interferences,” *Forensic Chem.*, vol. 16, no. May, p. 100175, 2019, doi: 10.1016/j.forc.2019.100175.
- [8] K. De Wael and L. Lepot, *Forensic Science , Applications of Raman Spectroscopy to Fiber Analysis*, 3rd ed. Elsevier Inc., 2016.
- [9] P. Vandenabeele, “Raman spectroscopy,” *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 397, no. 7, pp. 2629–2630, 2010, doi: 10.1007/s00216-010-3872-8.
- [10] A. S. Gilbert, *Vibrational, rotational and raman spectroscopy, historical perspective*, 3rd ed. Elsevier Ltd., 2016.
- [11] J. L. Ruvalcaba-sil and M. A. García-bucio, “Raman Spectroscopy,” pp. 1–5, 2018, doi: 10.1002/9781119188230.saseas0494.
- [12] P. Rostron, S. Gaber, and D. Gaber, “Raman Spectroscopy , Review,” no. September, 2016.
- [13] D. Wolverson, *Raman spectroscopy.* 2008.
- [14] A. K. Adya and E. Canetta, *Nanotechnology and Its Applications to Animal*

*Biotechnology*. Elsevier, 2013.

- [15] R. S. Das and Y. K. Agrawal, “Raman spectroscopy: Recent advancements, techniques and applications,” *Vib. Spectrosc.*, vol. 57, no. 2, pp. 163–176, 2011, doi: 10.1016/j.vibspec.2011.08.003.
- [16] D. D. Le Pevelen, “NIR FT-Raman,” *Encycl. Spectrosc. Spectrom.*, pp. 98–109, 2016, doi: 10.1016/B978-0-12-409547-2.12150-X.
- [17] G. S. Bumbrah and R. M. Sharma, “Raman spectroscopy – Basic principle, instrumentation and selected applications for the characterization of drugs of abuse,” *Egypt. J. Forensic Scifile:///C:/Users/Leidy/OneDrive/Documentos/Qca Forense/artículos Final forense/2021dejan YA.pdfences*, vol. 6, no. 3, pp. 209–215, 2016, doi: 10.1016/j.ejfs.2015.06.001.
- [18] S. P. Mulvaney and C. D. Keating, “Raman Spectroscopy,” vol. 72, no. 12, pp. 145–158, 2000.
- [19] L. O. Scoicaru *et al.*, “New advances in analytic and diagnostic technologies based on Raman spectroscopy,” *Int. Conf. Transparent Opt. Networks*, pp. 16–19, 2017, doi: 10.1109/ICTON.2017.8024930.
- [20] L. A. Lyon *et al.*, “Raman Spectroscopy,” vol. 2700, no. 98, pp. 341–362, 1998.
- [21] J. M. Benevides, S. A. Overman, and G. J. Thomas, “Raman, polarized Raman and ultraviolet resonance Raman spectroscopy of nucleic acids and their complexes,” *J. Raman Spectrosc.*, vol. 36, no. 4, pp. 279–299, 2005, doi: 10.1002/jrs.1324.
- [22] C. C. Attribution-noncommercial-noderivatives *et al.*, “Raman microscopy / spectroscopy in agricultural sciences and food technology.”
- [23] E. M. A. Ali, H. G. M. Edwards, and R. Cox, “Forensic and security applications of a long-wavelength dispersive Raman system,” *J. Raman Spectrosc.*, vol. 46, no. 3, pp. 322–326, 2015, doi: 10.1002/jrs.4632.
- [24] E. V. Efremov, F. Ariese, and C. Gooijer, “Achievements in resonance Raman spectroscopy. Review of a technique with a distinct analytical chemistry potential,”



- Anal. Chim. Acta*, vol. 606, no. 2, pp. 119–134, 2008, doi: 10.1016/j.aca.2007.11.006.
- [25] D. P. Cherney and J. M. Harris, “Confocal Raman microscopy of optical-trapped particles in liquids,” *Annu. Rev. Anal. Chem.*, vol. 3, no. 1, pp. 277–297, 2010, doi: 10.1146/annurev-anchem-070109-103404.
- [26] G. Giridhar, R. R. K. N. Manepalli, and G. Apparao, *Confocal Raman Spectroscopy*, vol. 2. Elsevier Inc., 2017.
- [27] C. A. Gutierrez, X. Garcia, E. E. Zurek, and A. Salazar, “Statistical model of a signal of Raman spectroscopy: Detection,” *Symp. Signals, Images Artif. Vis. - 2013, STSIVA 2013*, pp. 2–6, 2013, doi: 10.1109/STSIVA.2013.6644935.
- [28] K. Chen, Y. H. Ong, C. Yuen, and Q. Liu, *Surface-Enhanced Raman Spectroscopy for Intradermal Measurements*. Elsevier Inc., 2016.
- [29] E. Mistek, L. Halámková, K. C. Doty, C. K. Muro, and I. K. Lednev, “Race Differentiation by Raman Spectroscopy of a Bloodstain for Forensic Purposes,” *Anal. Chem.*, vol. 88, no. 15, pp. 7453–7456, 2016, doi: 10.1021/acs.analchem.6b01173.
- [30] V. Sikirzhytski, K. Virkler, and I. K. Lednev, “Discriminant analysis of Raman spectra for body fluid identification for forensic purposes,” *Sensors*, vol. 10, no. 4, pp. 2869–2884, 2010, doi: 10.3390/s100402869.
- [31] K. Virkler and I. K. Lednev, “Blood species identification for forensic purposes using Raman spectroscopy combined with advanced statistical analysis,” *Anal. Chem.*, vol. 81, no. 18, pp. 7773–7777, 2009, doi: 10.1021/ac901350a.
- [32] V. Sikirzhytski, A. Sikirzhytskaya, and I. K. Lednev, “Multidimensional Raman spectroscopic signatures as a tool for forensic identification of body fluid traces: A review,” *Appl. Spectrosc.*, vol. 65, no. 11, pp. 1223–1232, 2011, doi: 10.1366/11-06455.
- [33] S. Boyd, M. F. Bertino, and S. J. Seashols, “Raman spectroscopy of blood samples

- for forensic applications,” *Forensic Sci. Int.*, vol. 208, no. 1–3, pp. 124–128, 2011, doi: 10.1016/j.forsciint.2010.11.012.
- [34] K. C. Doty, G. McLaughlin, and I. K. Lednev, “A Raman ‘spectroscopic clock’ for bloodstain age determination: the first week after deposition,” *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 408, no. 15, pp. 3993–4001, 2016, doi: 10.1007/s00216-016-9486-z.
- [35] P. Lemler, W. R. Premasiri, A. DelMonaco, and L. D. Ziegler, “NIR Raman spectra of whole human blood: Effects of laser-induced and in vitro hemoglobin denaturation,” *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 406, no. 1, pp. 193–200, 2014, doi: 10.1007/s00216-013-7427-7.
- [36] K. C. Doty, C. K. Muro, and I. K. Lednev, “Predicting the time of the crime: Bloodstain aging estimation for up to two years,” *Forensic Chem.*, vol. 5, no. May, pp. 1–7, 2017, doi: 10.1016/j.forc.2017.05.002.
- [37] M. Vandewoestyne, T. Lepez, D. Van Hoofstat, and D. Deforce, “Evaluation of a Visualization Assay for Blood on Forensic Evidence,” *J. Forensic Sci.*, vol. 60, no. 3, pp. 707–711, 2015, doi: 10.1111/1556-4029.12720.
- [38] M. Kayser, *Forensic DNA Phenotyping: Predicting human appearance from crime scene material for investigative purposes*, vol. 18. Elsevier Ireland Ltd, 2015.
- [39] A. Sikirzhyskaya, V. Sikirzhyski, G. McLaughlin, and I. K. Lednev, “Forensic identification of blood in the presence of contaminations using raman microspectroscopy coupled with advanced statistics: Effect of sand, dust, and soil,” *J. Forensic Sci.*, vol. 58, no. 5, pp. 1141–1148, 2013, doi: 10.1111/1556-4029.12248.
- [40] S. Pahlow *et al.*, “Bioanalytical application of surface- and tip-enhanced Raman spectroscopy,” *Eng. Life Sci.*, vol. 12, no. 2, pp. 131–143, 2012, doi: 10.1002/elsc.201100056.
- [41] C. Chen, W. Liu, S. Tian, and T. Hong, “Novel surface-enhanced raman spectroscopy techniques for DNA, protein and drug detection,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 7, 2019, doi: 10.3390/s19071712.

- [42] S. Boyd, M. F. Bertino, D. Ye, L. S. White, and S. J. Seashols, “Highly Sensitive Detection of Blood by Surface Enhanced Raman Scattering,” *J. Forensic Sci.*, vol. 58, no. 3, pp. 753–756, 2013, doi: 10.1111/1556-4029.12120.
- [43] C. Muehlethaler, M. Leona, and J. R. Lombardi, “Review of Surface Enhanced Raman Scattering Applications in Forensic Science,” *Anal. Chem.*, vol. 88, no. 1, pp. 152–169, 2016, doi: 10.1021/acs.analchem.5b04131.
- [44] A. Bonifacio *et al.*, “Surface-enhanced Raman spectroscopy of blood plasma and serum using Ag and Au nanoparticles: A systematic study,” *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 406, no. 9–10, pp. 2355–2365, 2014, doi: 10.1007/s00216-014-7622-1.
- [45] J. Fujihara *et al.*, “Blood identification and discrimination between human and nonhuman blood using portable Raman spectroscopy,” *Int. J. Legal Med.*, vol. 131, no. 2, pp. 319–322, 2017, doi: 10.1007/s00414-016-1396-2.
- [46] G. McLaughlin, K. C. Doty, and I. K. Lednev, “Discrimination of human and animal blood traces via Raman spectroscopy,” *Forensic Sci. Int.*, vol. 238, pp. 91–95, 2014, doi: 10.1016/j.forsciint.2014.02.027.
- [47] W. R. Premasiri, J. C. Lee, and L. D. Ziegler, “Surface-enhanced raman scattering of whole human blood, blood plasma, and red blood cells: Cellular processes and bioanalytical sensing,” *J. Phys. Chem. B*, vol. 116, no. 31, pp. 9376–9386, 2012, doi: 10.1021/jp304932g.
- [48] A. R. Weber and I. K. Lednev, “Crime clock-analytical studies for approximating time since deposition of bloodstains,” *Forensic Chem.*, p. 100248, 2020, doi: 10.1016/j.forc.2020.100248.
- [49] M. Vacher *et al.*, “Chemi- and Bioluminescence of Cyclic Peroxides,” 2018, doi: 10.1021/acs.chemrev.7b00649.
- [50] K. Saito, M. Kogure, A. Sonoda, and R. Ito, “Luminol chemiluminescence reaction : Optimization by image analysis method and use in distinguishing human hemoglobin from potassium hexacyanoferrate ( III ) by addition of ascorbic acid,” *Forensic Chem.*, vol. 21, no. September, p. 100278, 2020, doi:

10.1016/j.forc.2020.100278.

- [51] K. De Wael, L. Lepot, F. Gason, and B. Gilbert, “In search of blood-Detection of minute particles using spectroscopic methods,” *Forensic Sci. Int.*, vol. 180, no. 1, pp. 37–42, 2008, doi: 10.1016/j.forsciint.2008.06.013.