

Maestría en
CRIMINALISTICA

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de

Magíster en Criminalística

AUTORES:

Britany Alejandra Palacios Zapata
María De Lourdes De Mora González
Sandra Leonela Rosero Freire
Bryan Omar Tapia Tapia
Cindy Yadira Vallin Llamuca

TUTORES:

Docente titulación

Profesor PBL1

Francisco Javier Gavilan Roman

Profesor PBL2

Sergio Antonio Fernández Moreno

Profesor PBL3

Enrique Dorado Fernández

Análisis criminalístico multidisciplinario del caso Columbine

Quito, mayo 2026

Certificación de autoría

Nosotros, **Britany Alejandra Palacios Zapata, Bryan Omar Tapia Tapia, María de Lourdes De Mora Gonzales, Sandra Leonela Rosero Freire y Cindy Yadira Llamuca Vallin** declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.

Firma del graduado
Britany Alejandra Palacios Zapata

Firma del graduado
Bryan Omar Tapia Tapia

Firma del graduado
María De Lourdes De Mora González

Firma del graduado
Sandra Leonela Rosero Freire

Firma del graduado
Cindy Yadira Vallin Llamuca

Autorización de Derechos de Propiedad Intelectual

Nosotros, **Britany Alejandra Palacios Zapata, Bryan Omar Tapia Tapia, María de Lourdes De Mora Gonzales, Sandra Leonela Rosero Freire y Cindy Yadira Vallin Llamuca a**, en calidad de autores del trabajo de investigación titulado *Análisis criminalístico multidisciplinario del caso Columbine mediante audio y video forense, balística, medicina legal y análisis estadístico*, autorizamos a la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) para hacer uso de todos los contenidos que nos pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autores nos corresponden, lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento en Ecuador.

D. M. Quito, mayo 2026

Firma del graduado
Britany Alejandra Palacios Zapata

Firma del graduado
Bryan Omar Tapia Tapia

Firma del graduado
María De Lourdes De Mora González

Firma del graduado
(Sandra Leonela Rosero Freire)

Firma del graduado
Vallin Llamuca Cindy Yadira

Aprobación de dirección y coordinación del programa

Nosotros, **Sr. Martín Dominguez** y el **Sr. Sergio Fernández**, declaramos que los graduandos: **Britany Alejandra Palacios Zapata, Bryan Omar Tapia Tapia, María de Lourdes De Mora Gonzales, Sandra Leonela Rosero Freire y Cindy Yadira Vallin Llamuca** son los autores exclusivos de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal de ellos.

FERNANDEZ
MORENO SERGIO
ANTONIO -
24237806S

Firmado digitalmente por
FERNANDEZ MORENO
SERGIO ANTONIO -
24237806S
Fecha: 2026.08.20 09:09:52
+02'00'

Sr. Martin Dominguez
Director/a de la
Maestría en Criminalística

Sr. Sergio Fernández
Coordinador/a de la
Maestría en Criminalística

DEDICATORIA

Britany Alejandra Palacios Zapata

Dedico este proyecto a mis padres, por su amor, apoyo y esfuerzo incondicional durante cada etapa de mi vida. Gracias por motivarme siempre a seguir adelante y creer en mí incluso en los momentos más difíciles. También quiero dedicar este logro a mi enamorado, por su compañía, paciencia y apoyo constante durante este proceso académico. Gracias por estar presente y acompañarme en este camino tan importante para mí crecimiento personal y profesional.

Bryan Omar Tapia Tapia

Dedicado a mis padres con profundo agradecimiento y cariño, quienes han sido mi mayor ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y perseverancia. Gracias por su apoyo incondicional, por cada sacrificio realizado y por acompañarme en cada etapa de mi formación personal y académica. Sus consejos, valores y confianza en mí han sido fundamentales para alcanzar metas. Este logro también les pertenece a ustedes, porque detrás de cada paso dado siempre estuvieron brindándome su amor y motivación para seguir adelante.

María De Lourdes De Mora González

Dedicado a mi padre Marco Antonio De Mora por siempre creer en mí, a Summer, Leo y Coffee por acompañarme en cada noche cursando esta maestría. A Grace por ser mi compañía.

El conocimiento es poder.

Sandra Leonela Rosero Freire

Dedico este trabajo a Dios y a mi familia, por ser mi fuerza y apoyo en cada momento de este camino. En especial a mis padres, Oliverio y Graciela, gracias por su amor, sacrificio y confianza incondicional motivándome siempre a seguir adelante y alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

Cindy Yadira Vallin Llamuca

Dedico este trabajo a Dios, por ser el cimiento de mi vida, por darme la salud, la sabiduría y la fortaleza para culminar con éxito este paso tan importante en mi vida profesional. A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y por ser mi mayor ejemplo de perseverancia. A mis hermanos y sobrinos, quienes se convirtieron en mi refugio de alegría y motivación. Gracias por su paciencia, por sus palabras de aliento por ser esa fuente de energía pura que me impulsó a seguir adelante

AGRADECIMIENTOS

Britany Alejandra Palacios Zapata

Agradezco de corazón a Dios, a mis padres y a las personas que estuvieron presentes durante esta etapa tan importante de mi vida, por su apoyo, confianza y motivación constante para no rendirme y seguir creciendo tanto personal como profesionalmente. También agradezco a mis docentes por compartir sus conocimientos y experiencias, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto y para fortalecer mi preparación en el ámbito de la criminalística.

Bryan Omar Tapia Tapia

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres, por su amor, apoyo y confianza incondicional a lo largo de este proceso académico. Gracias por ser mi fuente de inspiración y fortaleza, y por impulsarme siempre a seguir adelante pese a las dificultades. Agradezco también a todas las personas de mi círculo social que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo y culminación de esta etapa académica brindándome su apoyo, conocimientos y motivación.

Finalmente, agradezco a mis docentes y a la institución educativa por compartir sus enseñanzas y permitir mi formación profesional y personal durante esta etapa.

María De Lourdes De Mora González

A Dios y a todas las personas que aportaron de una u otra manera durante este proceso, gracias por el apoyo, la motivación y las enseñanzas que hicieron posible culminar esta etapa profesional.

Sandra Leonela Rosero Freire

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para alcanzar esta meta. A mi familia, por su apoyo incondicional y motivación constante, y a mis docentes y compañeros, por compartir sus conocimientos y contribuir a mi crecimiento profesional y personal.

Cindy Yadira Vallin Llamuca

A Dios, por ser mi guía y darme la sabiduría para alcanzar esta meta. A mis padres, por su amor eterno, sus sacrificios y por enseñarme a no rendirme jamás. A mis hermanos y sobrinos, por sus palabras de aliento, sus sonrisas y por ser la energía que me impulsó a seguir adelante. ¡Gracias por ser mi fortaleza en este camino!

RESUMEN

La masacre de la Escuela Secundaria de Columbine (20 de abril de 1999, Colorado, EE. UU.) constituye uno de los escenarios criminales más complejos del siglo XX. El ataque, perpetrado por Eric Harris y Dylan Klebold, generó un volumen masivo de evidencia material, médica y audiovisual. La investigación original se procesó con las limitaciones tecnológicas de la época, analizando cada disciplina de forma aislada.

Hoy en día la criminalística moderna permite revisar este caso histórico no de forma narrativa, sino mediante un Análisis Criminalístico Multidisciplinario. Este enfoque somete la evidencia original a herramientas contemporáneas de procesamiento digital de señales, reconstrucción vectorial de trayectorias, correlación lesiológica y modelado estadístico, garantizando un nivel de certeza científica y matemática que era inalcanzable en 1999.

El análisis pericial del caso Columbine enfrenta serios desafíos técnicos debido a la tecnología de la época: Nos manejaremos bajo dos premisas fundamentales que son:

Audiovisual: El video de la cafetería proviene de un circuito cerrado analógico multiplexado (*time-lapse* de baja resolución y pocos cuadros por segundo). El audio ambiental de la biblioteca quedó registrado en una llamada al 911 de 26 minutos, pero está saturado por el ruido de las alarmas de incendio, ecos y gritos.

Balística y Medicina Legal: La dinámica del tiroteo (tiradores en movimiento disparando a víctimas parapetadas bajo el mobiliario) generó una red caótica de impactos. Vincular la lesión

descrita en la autopsia con la posición exacta del tirador fue sumamente complejo sin software de reconstrucción tridimensional.

El problema central radica en la fragmentación de los datos. El uso de calibres idénticos por ambos tiradores (armas de 9mm) y la distorsión temporal de los testimonios bajo trauma dificultan la reconstrucción exacta de los hechos. Al trabajar las disciplinas en silos aislados, persisten inconsistencias sobre la secuencia de las ejecuciones y la mecánica pericial de los suicidios de los atacantes, la cual ha sido cuestionada por peritajes independientes.

Palabras Claves:

Correlación Lesiológica: Término correcto en medicina forense y legal, es el estudio que demuestra que una lesión física se corresponde exactamente con el relato de cómo ocurrió el hecho y con el objeto que la causó.

El multiplexado: Es una técnica que permite enviar dos o más señales o mensajes diferentes a través de un único canal de comunicación al mismo tiempo.

Víctimas Parapetadas: Es una persona atrapada en una situación de peligro (como un tiroteo o un asalto) que se encuentra oculta o protegida detrás de un parapeto, es decir, un muro, objeto contundente o estructura sólida que bloquea los ataques o proyectiles.

Peritaje: Es un estudio técnico, científico o especializado que realiza un experto (llamado perito) para analizar un hecho, un objeto o una situación compleja y explicar sus conclusiones ante un juez o una autoridad.

ABSTRACT

The Columbine High School massacre (April 20, 1999, Colorado, USA) is one of the most complex criminal cases of the 20th century. The attack, perpetrated by Eric Harris and Dylan Klebold, generated a massive volume of physical, medical, and audiovisual evidence. The original investigation was conducted with the technological limitations of the time, analyzing each discipline in isolation.

Today, modern criminalistics allows us to revisit this historic case not through a narrative approach, but through a multidisciplinary criminal analysis. This approach subjects the original evidence to contemporary tools of digital signal processing, vector trajectory reconstruction, injury correlation, and statistical modeling, guaranteeing a level of scientific and mathematical certainty that was unattainable in 1999. The expert analysis of the Columbine case faces serious technical challenges due to the technology of the time. We will operate under two fundamental premises:

Audiovisual: The cafeteria video comes from a multiplexed analog closed-circuit system (low-resolution time-lapse with few frames per second). The ambient audio from the library was recorded in a 26-minute 911 call, but it is saturated with the noise of fire alarms, echoes, and screams.

Ballistics and Forensic Medicine: The dynamics of the shooting (shooters on the move firing at victims taking cover under furniture) generated a chaotic network of impacts. Linking the

injury described in the autopsy to the exact position of the shooter was extremely complex without three-dimensional reconstruction software.

The central problem lies in the fragmentation of the data. The use of identical calibers by both shooters (9mm weapons) and the temporal distortion of testimonies under trauma make an accurate reconstruction of the events difficult. Because the disciplines work in silos, inconsistencies persist regarding the sequence of the executions and the forensic mechanics of the attackers' suicides, which have been questioned by independent expert analyses.

Keywords:

Lesiological Correlation: The correct term in forensic and legal medicine, it is the study that demonstrates that a physical injury corresponds exactly to the account of how the event occurred and to the object that caused it.

Multiplexing: This is a technique that allows two or more different signals or messages to be sent through a single communication channel simultaneously.

Trapped Victims: This refers to a person trapped in a dangerous situation (such as a shooting or assault) who is hidden or protected behind a parapet, that is, a wall, blunt object, or solid structure that blocks attacks or projectiles.

Expert Report: This is a technical, scientific, or specialized study carried out by an expert (called an expert witness) to analyze an event, an object, or a complex situation and explain their conclusions to a judge or authority.

TABLA DE CONTENIDOS (ÍNDICE)

CONTENIDO

Acuerdo de confidencialidad	4
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS	8
RESUMEN	10
ABSTRACT	12
LISTA DE TABLAS (Índice de tablas).....	17
Tabla 4. Reconstrucción dinámica de disparos.....	17
Tabla 5. Relación entre impactos y desplazamientos	17
Tabla 6. Limitaciones técnicas de la investigación balística en 1999	17
Tabla 7. Tecnologías balísticas modernas	17
Tabla 8. Correlación multidisciplinaria de evidencia	17
LISTA DE FIGURAS (Índice de figuras)	18
Figura 11. Plano general de Columbine High School y principales áreas del evento investigado	18
CAPÍTULO UNO	21
1. INTRODUCCIÓN	21
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	21
1.1.1. Naturaleza o tipo de proyecto	23
1.1.2. Objetivos	24
1.1.2.1. Objetivo general	24
1.1.2.2. Objetivos específicos	25
1.1.3. Justificación e importancia del trabajo de investigación	26
1. CAPÍTULO DOS	28
2.1. Introducción al audio y video forense	28
2.2. Importancia del audio y video forense en investigaciones criminales	28

2.3. Evidencia audiovisual en el caso Columbine	30
2.4. Análisis técnico de registros audiovisuales.....	37
2.5. Cronología audiovisual de los hechos	39
2.6. Limitaciones tecnológicas del análisis audiovisual en 1999	42
2.7. Aplicación de tecnologías forenses modernas	44
2.8. Correlación audiovisual con evidencia balística y médico-legal	46
2.9. Conclusiones del PBL 1.....	48
CAPÍTULO TRES	50
2. RECONSTRUCCIÓN BALÍSTICA FORENSE DEL CASO COLUMBINE.....	50
3.1. Introducción a la balística forense	50
Tabla 1. Armas utilizadas en el caso Columbine	51
3.3. Análisis de proyectiles y municiones.....	52
Tabla 2. Proyectiles y municiones identificadas	53
3.4. Trayectorias balísticas	53
Tabla 3. Análisis de trayectorias balísticas	54
3.5. Reconstrucción dinámica de disparos	55
Tabla 4. Reconstrucción dinámica de disparos.....	57
Tabla 5. Relación entre impactos y desplazamientos	58
3.6. Limitaciones técnicas de la investigación balística en 1999.....	58
Tabla 6. Limitaciones técnicas de la investigación balística en 1999	59
3.7. Aplicación de tecnologías balísticas modernas	60
Tabla 7. Tecnologías balísticas modernas	61
3.8. Correlación balística con medicina legal y evidencia audiovisual	62
Tabla 8. Correlación multidisciplinaria de evidencia	62
3.8.1. Hallazgos relevantes del análisis balístico	63
Hallazgos relevantes del análisis balístico	63
3.9. Conclusiones del análisis balístico	63
CAPÍTULO CUATRO	65
4. Análisis de medicina legal aplicado al caso Columbine	65

4.2 Análisis de las escenas del crimen	65
4.3 Resumen médico-legal de autopsias y lesiones de las víctimas fatales del caso Columbine.....	75
4.4 Hallazgo de los cuerpos de los autores del crimen	79
4.5 Hallazgos tanatológicos y balísticos de los perpetradores	82
CAPÍTULO CINCO	83
5.1. Conclusiones generales	83
5.2. Conclusiones específicas.....	84
5.2.3. Contribución a nivel académico	86
5.2.4. Contribución a nivel personal	87
5.3. Limitaciones a la Investigación	87
ANEXOS	89
Perfil psicológico de los perpetradores.....	89
BIBLIOGRAFÍAS	91

LISTA DE TABLAS (Índice de tablas)

Tabla 1: Armas utilizadas en el caso Columbine

Tabla 2: proyectiles y municiones identificadas

Tabla 3. Análisis de trayectorias balísticas

Tabla 4. Reconstrucción dinámica de disparos

Tabla 5. Relación entre impactos y desplazamientos

Tabla 6. Limitaciones técnicas de la investigación balística en 1999

Tabla 7. Tecnologías balísticas modernas

Tabla 8. Correlación multidisciplinaria de evidencia

LISTA DE FIGURAS (Índice de figuras)

Figura 1: Cámaras de videovigilancia de la cafetería escolar (Evidencia visual fundamental).

Figura 2: Registros y capturas del sistema de videovigilancia de la cafetería de Columbine High School.

Figura 3: Mensaje de auxilio escrito por los alumnos hacia el exterior de la institución.

Figura 4: Unidades de patrulla policial que arribaron a la escena durante el tiroteo.

Figura 5 y 6: Análisis espectrográfico y técnico de la llamada de emergencia al 911 (Profesora Patti Neilson).

Figura 7: Registro visual de las videocasetes de planificación conocidos como "Las cintas del sótano" (*The Basement Tapes*).

Figura 8: Evidencia documental del traslado y evacuación de estudiantes hacia zonas seguras.

Figura 9: Línea de tiempo y cronología audiovisual integrada de los hechos ocurridos en el Caso Columbine.

Figura 10: Indicios utilizados para la investigación.

Figura 11. Plano general de Columbine High School y principales áreas del evento investigado

Figura 12: Representación esquemática de trayectorias balísticas dentro de Columbine High School.

Figura 13: Línea de tiempo del ataque en Columbine High School.

Figura 14. Reconstrucción digital balística aplicada al análisis criminalístico del caso Columbine.

Figura 15: Ilustración frontal y posterior del vestuario planificado por Dylan Klebold para el ataque en Columbine

Figura 16: Cronología de los acontecimientos escrita por Dylan Klebold antes del ataque en Columbine

Figura 17: Análisis de la escena del crimen

Figura 18: Posición inicial del cuerpo de Daniel Rohrbough

Figura 19: Cuerpo de Dave Sanders hallado en la sala de almacenamiento.

Figura 20: Pizarra hallada en el aula de laboratorio

Figura 21: Imagen referencial del cuerpo hallado de Steve Curnow.

Figura 22: Referencial del cuerpo hallado de Cassie Bernall.

Figura 23: Imagen referencial del cuerpo hallado de Matt Kechter

Figura 24: Imagen referencial del cuerpo hallado de Lauren Townsend

Figura 25: Imagen referencial del cuerpo hallado de John Tomlin.

Figura 26: Imagen referencial creada por AI para representar, el cuerpo de Kelly Fleming.

Figura 27: Imagen referencial del cuerpo hallado de Daniel Mauser

Figura 28: Imagen referencial del cuerpo hallado de Corey DePooter

Figura 29 y 30: Imagen real del cuerpo de Klebold y Harris

CAPÍTULO UNO

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La violencia armada en instituciones educativas constituye uno de los fenómenos criminales de mayor impacto social y mediático a nivel mundial. Dentro de este contexto, el caso de la Masacre de Columbine representa uno de los eventos más emblemáticos en la historia contemporánea debido a la magnitud de los hechos, el número de víctimas y la complejidad investigativa que involucró diversas disciplinas forenses para la reconstrucción de los acontecimientos.

El ataque ocurrido el 20 de abril de 1999 en la institución educativa Columbine High School, ubicada en el estado de Colorado, Estados Unidos, dejó como resultado múltiples víctimas fatales y personas lesionadas, generando además una transformación significativa en los protocolos de investigación criminal, manejo de escenas del crimen y respuesta táctica ante eventos de violencia masiva. Este caso evidenció la necesidad de integrar diferentes ramas de la criminalística con el propósito de lograr una reconstrucción técnica y cronológica precisa de los hechos.

En investigaciones de esta naturaleza, el análisis aislado de la evidencia limita la comprensión integral del evento criminal. Por esta razón, disciplinas como el audio y video forense, la balística forense y la medicina legal adquieren una relevancia fundamental dentro del proceso

investigativo, permitiendo correlacionar evidencia audiovisual, trayectorias balísticas, lesiones traumáticas y demás hallazgos periciales que contribuyen al esclarecimiento de los hechos.

Desde la perspectiva del audio y video forense, el caso Columbine presentó importantes desafíos relacionados con la interpretación de registros audiovisuales obtenidos mediante sistemas de videovigilancia, análisis temporal de eventos, identificación acústica de detonaciones y sincronización de evidencia multimedia. De igual manera, la balística forense permitió determinar tipos de armas utilizadas, trayectorias de proyectiles, ubicación de impactos y relación entre los elementos balísticos hallados en la escena. Paralelamente, la medicina legal aportó información esencial sobre las lesiones sufridas por las víctimas, causas de muerte y correlación entre daños anatómicos y evidencia balística.

A pesar de que el caso ha sido ampliamente estudiado desde perspectivas sociales, psicológicas y criminológicas, existe la necesidad de desarrollar un análisis criminalístico multidisciplinario que integre las diferentes áreas forenses involucradas en la investigación. La presente investigación busca establecer una reconstrucción integral del caso mediante la aplicación teórica y técnica de herramientas propias de la criminalística moderna.

La importancia del presente estudio radica en su aporte académico y técnico al campo de la criminalística, al demostrar cómo la integración de diversas disciplinas forenses fortalece los procesos de investigación de hechos complejos. Asimismo, permite analizar la evolución de las metodologías investigativas desde 1999 hasta la actualidad, considerando los avances tecnológicos aplicados al análisis audiovisual, reconstrucción balística y medicina legal.

Finalmente, esta investigación pretende contribuir al fortalecimiento del conocimiento científico y metodológico en el ámbito forense, promoviendo la aplicación interdisciplinaria de técnicas criminalísticas en el análisis de eventos de violencia masiva y escenarios de alta complejidad investigativa.

1.1.1. Naturaleza o tipo de proyecto

La presente investigación se enfoca en el análisis criminalístico integral del caso Columbine, mediante la aplicación de conocimientos y metodologías correspondientes al audio y video forense, la balística forense y la medicina legal, con el propósito de realizar una reconstrucción técnica y cronológica de los hechos ocurridos durante el ataque.

El proyecto surge como una propuesta académica orientada a integrar distintas disciplinas forenses dentro de un mismo proceso investigativo, permitiendo demostrar la importancia del trabajo multidisciplinario en investigaciones de violencia masiva y delitos de alta complejidad. Para ello, se analizarán elementos documentales, evidencia audiovisual, información balística y hallazgos médico-legales obtenidos de fuentes oficiales, reportes técnicos y literatura científica relacionada con el caso.

Desde el ámbito del audio y video forense, se estudiará la utilización de registros audiovisuales obtenidos mediante sistemas de videovigilancia y demás evidencias multimedia que permitan establecer secuencias temporales, identificación de detonaciones y correlación de movimientos dentro de la escena. En el área de balística forense, se examinarán las armas empleadas, trayectorias de proyectiles, tipos de munición y distribución de impactos, con la finalidad de

reconstruir técnicamente la dinámica del ataque. Por otra parte, la medicina legal permitirá analizar las lesiones producidas por arma de fuego, mecanismos de muerte y correlación anatómica con los hallazgos balísticos presentes en la investigación.

El proyecto se desarrollará bajo un enfoque descriptivo, analítico y documental, aplicando principios científicos de la criminalística moderna para interpretar la evidencia y establecer una reconstrucción integral de los acontecimientos. Asimismo, se buscará identificar la importancia de la evolución tecnológica en las investigaciones forenses, comparando las herramientas disponibles en el año 1999 con las técnicas actualmente utilizadas en el análisis criminalístico.

La finalidad principal de esta investigación consiste en evidenciar cómo la integración de diferentes áreas forenses contribuye significativamente al esclarecimiento de hechos delictivos complejos, fortaleciendo los procesos de investigación criminal y aportando conocimiento académico aplicable al ámbito profesional de la criminalística.

1.1.2.Objetivos

1.1.2.1. Objetivo general

Realizar una reconstrucción criminalística integral del caso de la Masacre de Columbine mediante la aplicación de técnicas y principios de audio y video forense, balística forense y medicina legal, con la finalidad de analizar de manera multidisciplinaria la dinámica de los hechos y la correlación de la evidencia pericial.

1.1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar la evidencia audiovisual relacionada con el caso Columbine mediante técnicas de audio y video forense para establecer secuencias cronológicas y correlación de eventos ocurridos durante el ataque.
- Identificar y examinar las características balísticas de las armas, proyectiles, trayectorias e impactos presentes en la escena, a fin de reconstruir técnicamente la dinámica balística de los hechos.
- Evaluar los hallazgos médico-legales correspondientes a lesiones, mecanismos de muerte y daños anatómicos producidos en las víctimas, mediante el análisis de información forense documentada.
- Correlacionar los resultados obtenidos de las disciplinas de audio y video forense, balística y medicina legal para desarrollar una reconstrucción criminalística integral del caso.
- Determinar la importancia de la aplicación multidisciplinaria de la criminalística moderna en investigaciones relacionadas con eventos de violencia masiva y escenas del crimen de alta complejidad.
- Analizar la evolución de las técnicas forenses utilizadas en el caso Columbine en comparación con las herramientas tecnológicas disponibles en la actualidad para el procesamiento y análisis de evidencia criminal.

1.1.3. Justificación e importancia del trabajo de investigación

La presente investigación se justifica debido a la necesidad de fortalecer el análisis multidisciplinario dentro de la criminalística moderna, especialmente en investigaciones relacionadas con eventos de violencia masiva y escenas del crimen de alta complejidad. En el caso de la Masacre de Columbine, gran parte de los estudios desarrollados se han enfocado en aspectos psicológicos, sociales y criminológicos de los perpetradores, existiendo una limitada integración técnica entre las diferentes disciplinas forenses involucradas en la reconstrucción de los hechos.

La ausencia de una correlación integral entre audio y video forense, balística forense y medicina legal genera limitaciones en la comprensión técnica de la dinámica criminal del caso, dificultando el análisis científico completo de la evidencia obtenida durante la investigación. Por esta razón, resulta necesario desarrollar un estudio que permita integrar dichas áreas periciales mediante una metodología criminalística multidisciplinaria orientada a la reconstrucción técnica y cronológica de los acontecimientos.

Desde el ámbito académico, la investigación permitirá fortalecer el conocimiento científico relacionado con la aplicación interdisciplinaria de la criminalística moderna en escenarios de violencia masiva, contribuyendo al desarrollo metodológico de futuras investigaciones forenses. Asimismo, posibilitará consolidar los conocimientos adquiridos en las áreas de audio y video forense, balística y medicina legal dentro del programa de Maestría en Criminalística.

En el ámbito técnico y profesional, el estudio resulta relevante porque evidencia cómo la correlación de distintas disciplinas periciales mejora significativamente los procesos de reconstrucción criminalística y análisis de escenas complejas. Además, permitirá identificar la evolución de las herramientas tecnológicas utilizadas desde 1999 hasta la actualidad en el procesamiento de evidencia audiovisual, análisis balístico y evaluación médico-legal.

Finalmente, la presente investigación busca aportar una visión científica e integral sobre la importancia del trabajo multidisciplinario dentro de la criminalística contemporánea, promoviendo la aplicación coordinada de técnicas forenses modernas para el esclarecimiento de hechos delictivos de alta complejidad investigativa

1. CAPÍTULO DOS

2.1. Introducción al audio y video forense

Audio y video forense constituye una de las áreas más importantes dentro de la criminalística, permite analizar evidencia obtenida mediante grabaciones de audio, cámaras de vigilancia, llamadas telefónicas y archivos digitales. Su objetivo principal es autenticar, mejorar, interpretar y preservar material multimedia que pueda servir como evidencia judicial.

La Masacre de Columbine, este hecho dejó 13 víctimas mortales y decenas de heridos, convirtiéndose en uno de los ataques escolares más impactantes de la historia contemporánea. El caso representó un punto de inflexión en el análisis de evidencia multimedia debido a la gran cantidad de grabaciones disponibles, incluyendo videos de cámaras de seguridad, llamadas al 911 y grabaciones realizadas por los propios atacantes. A partir de este evento, las técnicas de audio y video forense comenzaron a adquirir mayor relevancia dentro de las investigaciones criminales.

2.2. Importancia del audio y video forense en investigaciones criminales

Según el Instituto Nacional de Justicia de los Estados Unidos, el análisis forense digital permite examinar evidencia electrónica mediante procedimientos técnicos que garantizan la integridad y autenticidad de la información recopilada. En este contexto, el audio y video forense constituyen herramientas fundamentales dentro de la criminalística hoy en día, ya que permiten analizar evidencias digitales, identificar personas, reconstruir hechos y verificar la autenticidad de grabaciones utilizadas en procesos judiciales. Estas disciplinas aplican métodos científicos y tecnológicos para

extraer información relevante en investigaciones criminales, fortaleciendo el esclarecimiento de delitos y la administración de justicia. Se han convertido en recursos esenciales debido al incremento del uso de cámaras de vigilancia, teléfonos móviles y plataformas digitales. De acuerdo con Córdova (2018), “el análisis acústico y espectrográfico de la voz constituye una herramienta importante para la identificación de individuos en investigaciones penales” (p. 54). Este tipo de análisis es ampliamente utilizado en casos de amenazas, extorsiones, secuestros y delincuencia organizada.

Por otro lado, el video forense permite examinar imágenes y grabaciones con el fin de reconstruir acontecimientos y obtener evidencia visual confiable. Como señalan Morales y Sánchez (2020), “las técnicas de mejoramiento y autenticación de video facilitan la identificación de personas y objetos relacionados con hechos delictivos” (p. 88). Además, contribuye a establecer cronologías precisas y analizar comportamientos durante la comisión de un delito.

La importancia de estas disciplinas también radica en su valor probatorio dentro del sistema judicial. El material audiovisual correctamente procesado puede constituirse en evidencia científica objetiva que complemente testimonios y otros indicios criminalísticos. En casos como la Masacre de Columbine, el análisis de cámaras de seguridad y grabaciones permitió reconstruir parcialmente la secuencia de los hechos y el comportamiento de los atacantes.

2.3. Evidencia audiovisual en el caso Columbine

Figura 1.



Imagen real descargada de internet muestra cámaras de videovigilancia de la cafetería escolar constituyeron la evidencia visual más relevante del caso.

Figura 2.



Imagen real descargada de internet de las cámaras de videovigilancia de la cafetería escolar

Figura 3.

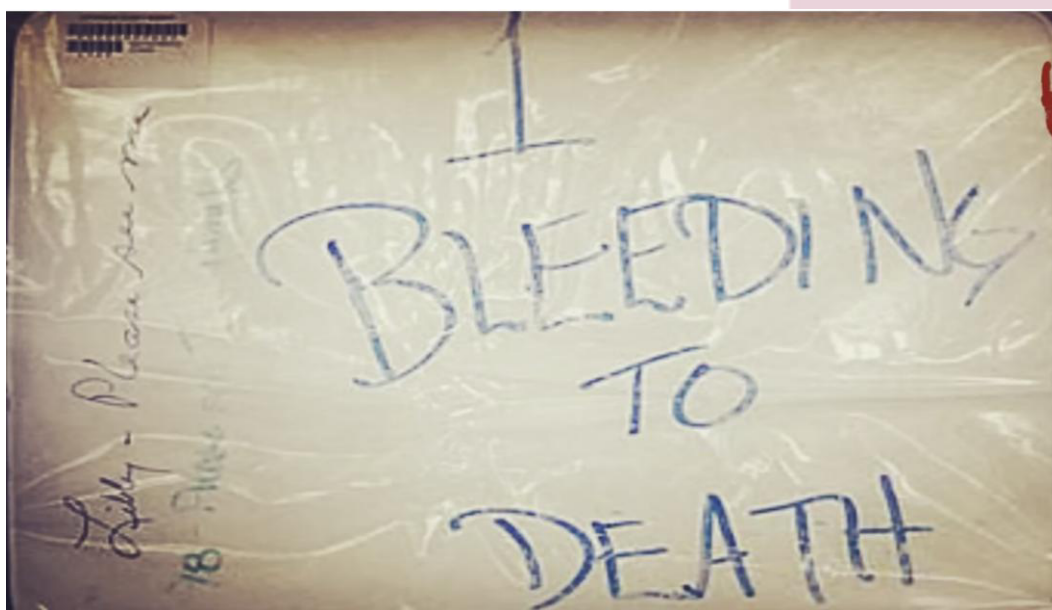


Imagen real descargada de internet, muestra la frase que escribieron los alumnos pidiendo ayuda a la gente que estaba en el exterior.

Figura 4.



Imagen real descargada de internet, muestra las tres patrullas que arribaron al tiroteo. Las grabaciones de las cámaras de seguridad de la cafetería fueron fundamentales para la investigación. Permitieron observar movimientos de los atacantes, ubicación de explosivos, trayectorias dentro del edificio, tiempos de reacción, interacción con víctimas.

Las llamadas realizadas al sistema de emergencias 911 representaron una fuente importante de evidencia sonora. En estas grabaciones se identificaron: sonidos de disparos, explosiones, gritos y pedidos de ayuda, alarmas de incendio, voces de víctimas y testigos.

La llamada que se pudo acceder en esta investigación fue la de la Profesora Patti Neilson

Disponible en el siguiente enlace. <https://www.acolumbinesite.com/sounds/911.wav>

Descripción del archivo analizado



Archivo Nombre: 911.wav

Tipo de archivo: WAV

Fuente: llamada de emergencia al 911

Origen: registros relacionados con el caso Columbine

Calidad: telefonía analógica de finales de los años 90

Características generales El archivo presenta: baja fidelidad sonora, ruido ambiental constante, compresión telefónica, saturación en sonidos de alta intensidad, interferencias acústicas.

El rango de frecuencia corresponde aproximadamente al utilizado en sistemas telefónicos analógicos:

$300 \text{ Hz} \leq f \leq 3400 \text{ Hz}$

El análisis se desarrolló utilizando criterios similares a los empleados en software de edición y análisis forense de audio como: Audacity,

Figura 5.

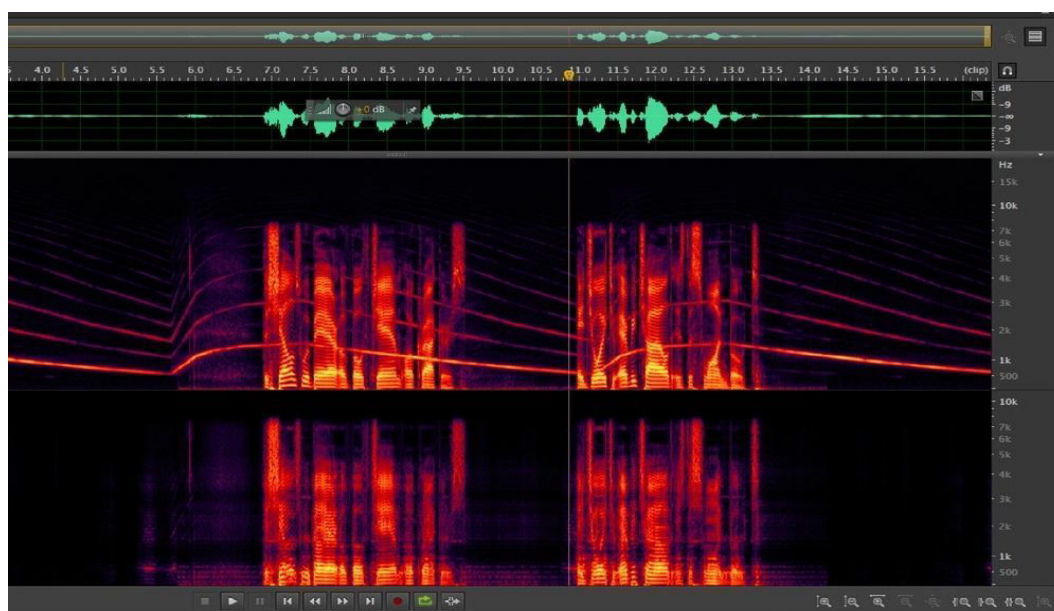


Figura 5. Análisis del audio de la llamada al 911

Hallazgos observados:

Picos de alta amplitud se identifican impulsos acústicos abruptos compatibles con: disparos, golpes, sonidos explosivos y el archivo presenta baja fidelidad sonora gritos intensos. Estos eventos generan transientes rápidos y pronunciados dentro de la onda sonora.

Segmentos de baja amplitud

Corresponden posiblemente a voces lejanas, respiración, silencios parciales, conversaciones en tono bajo.

Saturación En determinados momentos el audio presenta distorsión debido a la sobrecarga acústica provocada por sonidos de elevada intensidad.

Análisis espectral

El espectrograma permite representar gráficamente la distribución de frecuencias del audio a lo largo del tiempo.

Figura 6.

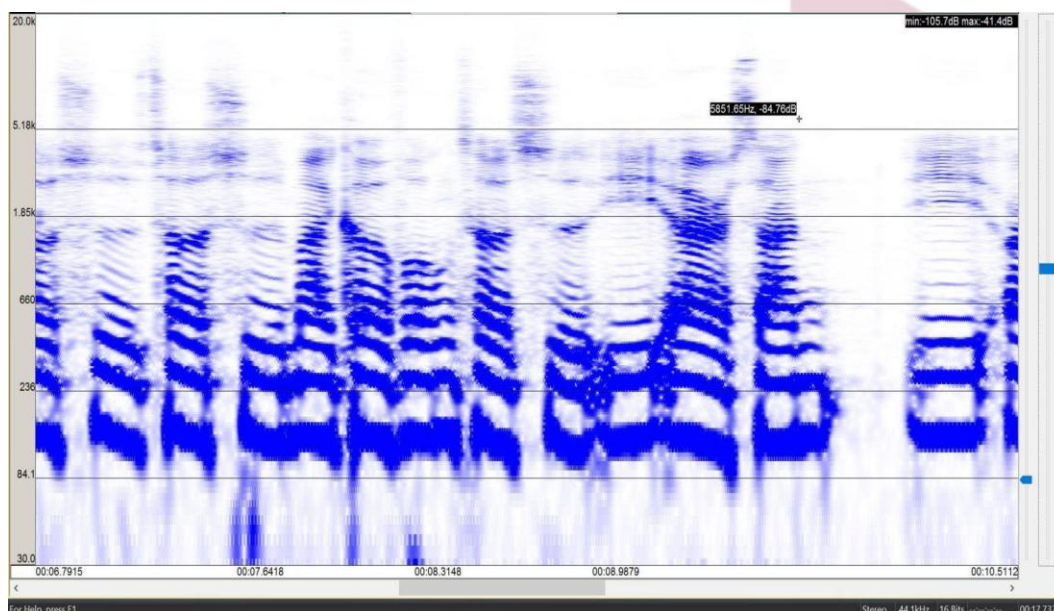


Figura 6 análisis espectral del audio 911.wav

Los sonidos compatibles con disparos presentan impulsos breves, alta intensidad, distribución amplia de frecuencias, patrones verticales pronunciados.

Las voces se concentran principalmente dentro del espectro telefónico convencional:

frecuencias medias, baja presencia de armónicos agudos, inteligibilidad limitada.

Ruido continuo Se identifican bandas persistentes compatibles con: alarmas, interferencia telefónica, ruido ambiental del entorno escolar.

El análisis de audio del archivo “911.wav” muestra la importancia del audio como evidencia dentro de investigaciones criminales. A través de técnicas de análisis waveform, espectrografía y procesamiento digital es posible identificar eventos acústicos relevantes como disparos, voces y sonidos ambientales asociados al ataque ocurrido en Columbine.

Antes del ataque, Harris y Klebold grabaron una serie de videos conocidos como las cintas del sótano en las que se evidenciaban su expresión de pensamientos violentos, motivaciones y detalles de planificación. Estos videos fueron utilizados para perfilación psicológica, análisis conductual, evaluación de premeditación, estudio de amenazas escolares.

Figura 7.



Imagen real tomada de internet, toma del video cintas del sótano.

Las autoridades decidieron restringir gran parte de su difusión pública debido al riesgo de que pudieran servir como material de inspiración para futuros ataques.

2.4. Análisis técnico de registros audiovisuales

Durante la década de los años 90, el análisis forense de audio y video se encontraba en una etapa de transición del mundo analógico cintas de casete, VHS a la digital. No existía un único programa universal para todo como ocurre hoy en día, los laboratorios gubernamentales, FBI y los peritos judiciales utilizaban una combinación de sistemas de hardware, estaciones de trabajo científicas y los primeros softwares comerciales especializados.

Las grabaciones de las cámaras de seguridad fueron aseguradas siguiendo protocolos de cadena de custodia para evitar alteraciones o pérdida de información. Se realizaron copias maestras,

respaldos digitales, almacenamiento seguro, documentación cronológica del manejo de la evidencia.

Las grabaciones fueron examinadas cuadro por cuadro para identificar: movimientos de los atacantes, trayectorias de desplazamiento, colocación de explosivos, tiempos de detonación, reacciones de víctimas y personal.

Figura 8.



Imagen real tomada de internet, momento de traslado a zonas seguras a los estudiantes.

Debido a que las cámaras de 1999 tenían baja resolución, los especialistas aplicaron técnicas de procesamiento digital para mejorar la calidad visual como aumento de contraste, estabilización de imagen, ampliación digital, reducción de ruido visual y corrección de brillo. El objetivo era identificar con mayor claridad armas, movimientos corporales, objetos

transportados, ubicación de explosivos. Los videos de distintas cámaras fueron sincronizados con: llamadas al 911, alarmas escolares, testimonios, registros policiales.

Esto permitió establecer: horarios exactos, secuencia de disparos, desplazamiento de los atacantes dentro de la escuela.

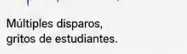
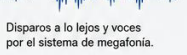
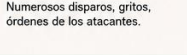
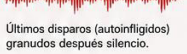
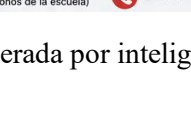
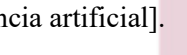
Cool Edit Lanzado a principios de los 90 para Windows, fue uno de los editores de audio digital más populares del mundo. Los peritos forenses lo adoptaron masivamente debido a su potente análisis espectral, sus herramientas de filtrado FFT (Transformada Rápida de Fourier) y reducción de ruido por captura de perfil.

2.5. Cronología audiovisual de los hechos

La cronología audiovisual del caso fue reconstruida mediante el análisis conjunto de cámaras de seguridad, llamadas al 911, registros policiales y testimonios, permitiendo establecer una secuencia precisa de los hechos ocurridos el 20 de abril de 1999 en la Columbine High School. Aproximadamente entre las 11:10 y 11:14 a.m., las cámaras registraron la llegada de Eric Harris y Dylan Klebold al estacionamiento de la escuela transportando bolsos con artefactos explosivos improvisados. Minutos después, entre las 11:14 y 11:17 a.m., las cámaras de la cafetería captaron a ambos ingresando y colocando mochilas bajo las mesas, las cuales posteriormente no detonaron correctamente. A las 11:19 a.m. comenzaron los primeros disparos, registrados tanto en llamadas al 911 como en grabaciones de audio ambiental, permitiendo sincronizar los sonidos con los movimientos observados en video. Entre las 11:19 y 11:24 a.m. Se desarrolló el ataque en el exterior de la institución, donde la evidencia

audiovisual y los testimonios permitieron identificar desplazamientos armados, rutas de escape y momentos de pánico. Aproximadamente a las 11:24 a.m., los atacantes ingresaron nuevamente al edificio y las cámaras internas registraron sus movimientos por pasillos y distintas áreas escolares. Entre las 11:29 y 11:36 a.m. ocurrieron los hechos en la biblioteca, reconstruidos principalmente mediante grabaciones de audio, testimonios y análisis acústico, ya que no existían cámaras en esa zona. Posteriormente, alrededor de las 11:44 a.m., las cámaras registraron intentos fallidos de activar explosivos adicionales en la cafetería. Entre las 11:44 a.m. y las 12:00 p.m., los atacantes continuaron desplazándose dentro del edificio mientras disminuía la frecuencia de disparos. Finalmente, aproximadamente a las 12:08 p.m., la sincronización entre registros sonoros, evidencia balística y reportes policiales permitió determinar el suicidio de ambos agresores dentro de la biblioteca. Todo el material audiovisual fue posteriormente autenticado, preservado y analizado mediante técnicas forenses para construir una línea temporal precisa del ataque y fortalecer la investigación criminal.

Figura 9. Cronología audiovisual de los hechos – Caso Columbine

CRONOLOGÍA AUDIOVISUAL DE LOS HECHOS – CASO COLUMBINE				
20 DE ABRIL DE 1999 – COLUMBINE HIGH SCHOOL, LITTLETON, COLORADO, EE. UU.				
HORA APROX.	HECHO PRINCIPAL	EVIDENCIA VISUAL (Video / Imágenes)	EVIDENCIA DE AUDIO (911 / Audio ambiental)	FUENTE
11:10 – 11:14 a.m.	LLEGADA DE HARRIS Y KLEBOLD Las cámaras del estacionamiento registran a Eric Harris y Dylan Klebold llegando a la escuela con bolsos y mochilas.	 Cámara de estacionamiento	 Sin audio relevante.	Cámaras de seguridad del estacionamiento
11:14 – 11:17 a.m.	COLOCACIÓN DE EXPLOSIVOS EN LA CAFETERÍA Las cámaras de la cafetería muestran a los atacantes colocando mochilas con artefactos explosivos bajo las mesas.	 Cámara de la cafetería (CCTV)	 Ruidos ambientales normales de la cafetería.	Cámaras CCTV de la cafetería
11:19 a.m.	INICIO DEL ATAQUE ARMADO Se escuchan los primeros disparos. Comienzan el pánico y las llamadas al 911.	 11:19:05	 Primeros disparos, gritos y alarma de incendio.	Llamadas al 911 y audio ambiental
11:19 – 11:24 a.m.	ATAQUE EN EXTERIORES Los atacantes disparan contra estudiantes afuera del edificio. Las imágenes muestran movimiento de personas huyendo.	 Cámara exterior	 Múltiples disparos, gritos de estudiantes.	Cámaras exteriores y llamadas al 911
11:24 a.m.	INGRESO AL EDIFICIO Harris y Klebold ingresan nuevamente al edificio escolar.	 Cámara en pasillo	 Disparos a lo lejos y voces por el sistema de megafonía.	Cámaras internas y audio ambiental
11:29 – 11:36 a.m.	HECHOS EN LA BIBLIOTECA Ocurren múltiples disparos y víctimas fatales en la biblioteca. No hay cámaras en esta área, por lo que se reconstruye con audio y testimonios.	 Sin cámaras (reconstrucción)	 Numerosos disparos, gritos, órdenes de los atacantes.	Llamadas al 911, audio ambiental y testimonios
11:44 a.m.	INTENTO DE DETONACIÓN DE EXPLOSIVOS Regresan a la cafetería e intentan detonar las bombas colocadas, sin éxito.	 Cámara de la cafetería (CCTV)	 Sonidos de fuego y explosiones menores.	Cámaras CCTV y audio ambiental
11:44 a.m. – 12:00 p.m.	DESPLAZAMIENTOS FINALES Los atacantes se desplazan por pasillos y distintas áreas del edificio. Disminuye la frecuencia de disparos.	 Cámara en pasillo	 Disparos esporádicos y movimientos.	Cámaras internas, llamadas al 911 y audio ambiental
12:08 p.m.	SUICIDIO DE LOS ATACANTES Se determina por análisis forense y audio que Harris y Klebold se suicidan en la biblioteca.	 Sin cámaras (reconstrucción)	 Últimos disparos (autoinfligidos) granudos después silencio.	Análisis de audio, evidencia balística y reportes policiales
LEYENDA DE EVIDENCIA  Cámaras de seguridad (estacionamiento, exteriores, pasillos, cafetería)  Audio ambiental (micrófonos de la escuela)  Llamadas al 911  Testimonios y reportes policiales  Evidencia digital y otros registros				

[Imagen generada por inteligencia artificial].

2.6. Limitaciones tecnológicas del análisis audiovisual en 1999

Durante la investigación de la Masacre de Columbine, los especialistas en audio y video forense enfrentaron múltiples limitaciones tecnológicas propias de finales de la década de 1990. Estas dificultades afectaron la calidad del análisis audiovisual y evidenciaron la necesidad de modernizar los sistemas de videovigilancia y procesamiento digital utilizados en investigaciones criminales.

Una de las principales limitaciones fue la baja resolución de las cámaras de seguridad instaladas en la Columbine High School. Los sistemas CCTV de esa época utilizaban tecnología analógica, produciendo imágenes con poca definición y escasa nitidez, lo que dificulta identificar detalles específicos como expresiones faciales, características de objetos o movimientos precisos de los atacantes. Además, las grabaciones presentaban problemas de iluminación, contraste y calidad visual reducida.

Otra limitación importante fue la escasa capacidad de almacenamiento digital. En 1999, muchos sistemas grababan sobre cintas o dispositivos con espacio limitado, lo que restringía la duración y calidad de los registros. Asimismo, la velocidad de procesamiento computacional era considerablemente menor en comparación con la tecnología actual, dificultando la mejora digital de imágenes y la reconstrucción rápida de eventos.

En el ámbito del audio forense, las grabaciones de llamadas al 911 y sonidos ambientales presentaban interferencias, ruido de fondo y baja fidelidad sonora. Las herramientas de limpieza y filtrado digital eran limitadas, por lo que separar voces, disparos o explosiones

resultaba complejo. La espectrografía y el análisis acústico existían, pero no contaban con la precisión ni automatización disponibles en la actualidad.

Una de las limitaciones es la sincronización audiovisual. La integración entre videos de distintas cámaras, y grabaciones de audio debía realizarse manualmente en gran medida, aumentando el tiempo de análisis y la posibilidad de errores cronológicos. Del mismo modo, los sistemas de autenticación digital y detección de alteraciones eran menos avanzados, lo que complicaba la verificación de integridad de la evidencia multimedia.

Otra dificultad importante fue la ausencia de tecnologías modernas como inteligencia artificial, reconocimiento facial, reconstrucción 3D o análisis automatizado de comportamiento. Actualmente estas herramientas permiten mejorar imágenes, identificar patrones y reconstruir escenas con alta precisión, capacidades que no estaban disponibles durante la investigación de Columbine.

A pesar de estas limitaciones, el análisis audiovisual realizado en 1999 permitió reconstruir gran parte de los hechos y demostró la importancia de la evidencia multimedia dentro de la criminalística moderna. El caso impulsó el desarrollo de nuevas tecnologías y protocolos forenses que hoy son fundamentales en investigaciones criminales complejas.

2.7. Aplicación de tecnologías forenses modernas

En la actualidad, las investigaciones criminales cuentan con tecnologías forenses mucho más avanzadas que las disponibles durante la investigación de la Masacre de Columbine. El desarrollo de herramientas digitales, inteligencia artificial y sistemas avanzados de procesamiento multimedia ha permitido mejorar significativamente el análisis de evidencia audiovisual dentro de la criminalística moderna.

Una de las principales aplicaciones modernas es el uso de inteligencia artificial y programa Amped Five para la mejora de imágenes y videos. Mediante algoritmos especializados, los expertos pueden aumentar la resolución, corregir iluminación, reducir ruido visual y estabilizar grabaciones de baja calidad. Estas técnicas permiten identificar rostros, objetos y movimientos con mayor precisión que en 1999 (National Institute of Standards and Technology [NIST], s.f.).

Otra tecnología importante es la reconstrucción tridimensional 3D de escenas del crimen. Actualmente, los investigadores pueden recrear digitalmente espacios físicos utilizando registros audiovisuales, escaneos láser y modelado computacional. Esto facilita analizar trayectorias, posiciones y desplazamientos de personas dentro de una escena criminal (Federal Bureau of Investigation [FBI], s.f.).

En el área del audio forense, los sistemas modernos como iZotope RX, Audacity programa en el cual se ha impartido como usarlo durante la asignatura, permiten realizar limpieza avanzada de sonido mediante software especializado capaz de separar voces, eliminar interferencias y

detectar patrones acústicos específicos. Además, la biometría de voz y el reconocimiento automatizado permiten comparar grabaciones con mayor exactitud científica.

Asimismo, las tecnologías actuales incluyen reconocimiento facial y análisis automatizado de comportamiento. Estas herramientas permiten identificar personas en grabaciones de videovigilancia y detectar conductas sospechosas mediante inteligencia artificial. De igual manera, los sistemas modernos pueden sincronizar automáticamente múltiples fuentes de video y audio para construir cronologías precisas de los hechos.

Otra aplicación relevante es la autenticación digital y detección de manipulación multimedia. En este caso generando el Hash debido al avance de los deepfakes y ediciones digitales complejas, actualmente existen herramientas capaces de verificar la integridad de imágenes, videos y audios, identificando alteraciones o montajes digitales que podrían comprometer una investigación judicial.

Finalmente, permite recuperar archivos eliminados, analizar dispositivos electrónicos y extraer metadatos digitales que aportan información relevante sobre fechas, ubicaciones y modificaciones de archivos multimedia. Estas capacidades fortalecen la obtención de evidencia válida y confiable en procesos judiciales contemporáneos.

2.8. Correlación audiovisual con evidencia balística y médico-legal

La correlación fue fundamental para reconstruir con precisión la dinámica del ataque. La integración de estas áreas permitió establecer cronologías exactas, identificar trayectorias de disparos y comprender la secuencia de lesiones sufridas por las víctimas (Cullen, 2009).

Las grabaciones de cámaras de seguridad y llamadas al 911 fueron comparadas con los hallazgos balísticos obtenidos en la escena del crimen. Mediante el análisis cuadro por cuadro de los videos, los investigadores lograron identificar posiciones aproximadas de los atacantes, dirección de desplazamientos y momentos específicos en los que se efectuaron disparos. Esta información fue contrastada con la ubicación de casquillos, proyectiles y daños producidos por armas de fuego dentro de la escuela.

El análisis balístico permitió determinar: tipo de armas utilizadas, trayectorias de proyectiles, distancia aproximada de disparo, secuencia de detonaciones, relación entre impactos y posiciones de los agresores.

Figura 10.



Imagen real descargada da de internet, se observa los indicios que se tomaron para la investigación.

Desde el punto de vista médico-legal, las autopsias y exámenes forenses de las víctimas permitieron identificar: trayectorias internas de proyectiles, órganos afectados, tipo de lesiones, distancia de disparo, causa exacta de muerte, la compatibilidad entre las lesiones observadas y las armas utilizadas por los atacantes. De esta manera, los investigadores pudieron reconstruir la mecánica de múltiples disparos y verificar la coherencia entre evidencia física y registros audiovisuales (Spitz & Spitz, 2006).

Además, la correlación multidisciplinaria permitió validar la cronología del ataque. Por ejemplo, los tiempos estimados mediante videos y grabaciones de audio coincidieron con los hallazgos tanatológicos y la evolución de las lesiones observadas en las víctimas. Esta integración fortaleció la validez científica de la investigación criminal y permitió elaborar una reconstrucción más precisa de los hechos.

El caso Columbine evidenció la importancia de combinar audio y video forense con balística y medicina legal dentro de investigaciones complejas. Actualmente, este enfoque interdisciplinario constituye un procedimiento esencial en criminalística moderna para reconstruir escenas del crimen y fortalecer la evidencia judicial.

2.9. Conclusiones del PBL 1

La investigación de la Masacre de Columbine demostró la importancia del audio y video forense dentro de las investigaciones criminales pasadas y modernas. Gracias a esto fue posible obtener una comprensión más precisa de la dinámica del ataque y fortalecer la validez de la investigación judicial.

Asimismo, el caso evidenció las limitaciones tecnológicas a pesar de ello, la evidencia audiovisual se convirtió en uno de los elementos más relevantes de la investigación y marcó un punto de referencia para el desarrollo posterior de la criminalística multimedia

En la actualidad, los avances tecnológicos han transformado significativamente el campo del audio y video forense. El uso de inteligencia artificial, reconocimiento facial, biometría de voz, reconstrucción tridimensional y análisis automatizado permite obtener resultados mucho más precisos y rápidos que en décadas anteriores. Además, herramientas modernas de autenticación digital y detección de manipulación multimedia son fundamentales ante el crecimiento de tecnologías como los deepfakes y la edición avanzada de contenido audiovisual.

Los sistemas modernos de videovigilancia de alta resolución, junto con software especializado de análisis acústico y procesamiento digital, permiten reconstruir escenas del crimen con un alto nivel de detalle científico. De igual manera, la integración entre evidencia audiovisual, informática forense, balística y medicina legal ha fortalecido el enfoque multidisciplinario de las investigaciones criminales contemporáneas.

Finalmente, el caso columbine dejó una importante enseñanza sobre la necesidad de preservar adecuadamente la evidencia digital y continuar desarrollando tecnologías forenses capaces de responder a los desafíos actuales. Hoy en día, el audio y video forense constituye una herramienta indispensable para esclarecer delitos, verificar hechos y aportar evidencia objetiva y científica dentro del sistema judicial moderno.

CAPÍTULO TRES

2. RECONSTRUCCIÓN BALÍSTICA FORENSE DEL CASO COLUMBINE

El presente capítulo desarrolla el análisis balístico forense aplicado al caso de la Masacre de Columbine, mediante el estudio técnico de armas de fuego, proyectiles, trayectorias e impactos registrados durante el ataque. Asimismo, se analiza la importancia de la balística dentro de la reconstrucción criminalística y su correlación con otras disciplinas forenses involucradas en la investigación.

3.1. Introducción a la balística forense

La balística forense es la disciplina criminalística encargada del estudio de armas de fuego, municiones, proyectiles, casquillos e impactos asociados a hechos investigados. Su análisis permite establecer relaciones entre la evidencia física recuperada en la escena, la dinámica de los disparos y los daños producidos sobre personas u objetos (Saferstein, 2020; Di Maio, 2016).

En el caso Columbine, el análisis balístico constituye un elemento fundamental para la reconstrucción de los hechos, ya que permite correlacionar armas, trayectorias, impactos y patrones de disparo con la distribución espacial de la evidencia documentada en los informes oficiales de investigación.

3.2. Armas utilizadas en el caso Columbine

La investigación oficial determinó que durante el ataque fueron utilizadas varias armas de fuego, entre ellas una carabina semiautomática Hi-Point 995 calibre 9 mm, una pistola semiautomática TEC-DC9 calibre 9 mm y escopetas de calibre 12 modificadas. Las características operativas de estas armas influyeron directamente en los patrones de disparo observados en la escena y en la distribución de la evidencia balística recuperada.

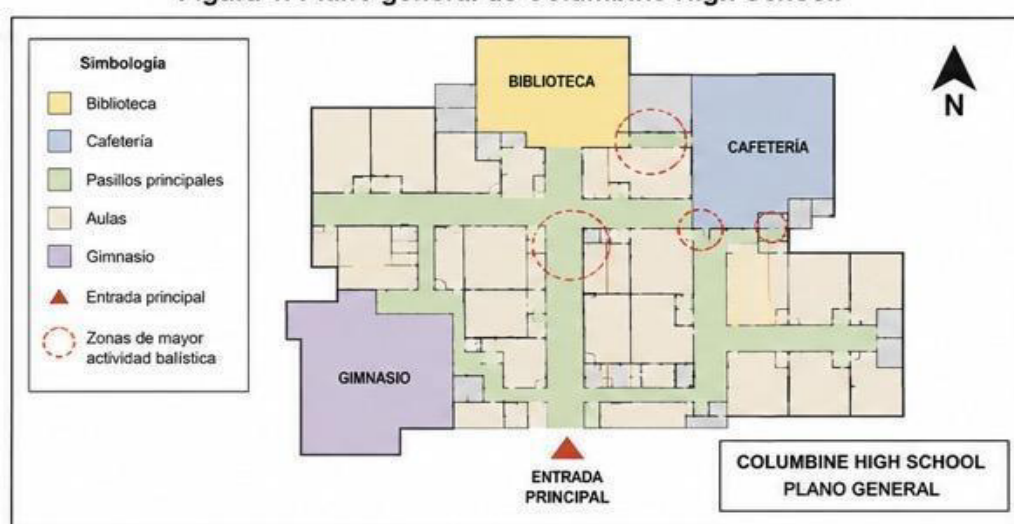
El análisis de casquillos, proyectiles e impactos documentados permitió asociar determinadas zonas de la institución con armas específicas, contribuyendo a la reconstrucción de trayectorias, posiciones relativas y desplazamientos de los atacantes durante diferentes fases del evento.

Tabla 1. Armas utilizadas en el caso Columbine

Arma	Tipo	Calibre	Características principales
Hi-Point 995	Carabina semiautomática	9 mm	Alta capacidad de disparo semiautomático
TEC-DC9	Pistola semiautomática	9 mm	Disparos rápidos y cargadores de gran capacidad
Escopetas recortadas	Escopetas de bombo	12 gauge	Amplia dispersión y alto daño a corta distancia

Figura 11. Plano general de Columbine High School y principales áreas del evento investigado.

Figura 1. Plano general de Columbine High School.



Fuente: Elaboración propia con base en informes oficiales y planos públicos.

Fuente: Elaboración propia con base en documentación pública del caso Columbine.

3.3. Análisis de proyectiles y municiones

El análisis de proyectiles y municiones documentado en los informes oficiales del caso Columbine permitió identificar la utilización de munición calibre 9 mm y cartuchos de escopeta calibre 12, asociados a las armas empleadas durante el ataque. La recuperación de casquillos percutidos, proyectiles deformados y fragmentos balísticos en distintas áreas de la institución proporcionó información relevante para la reconstrucción de trayectorias y secuencias de disparo.

La distribución espacial de esta evidencia permitió establecer patrones de desplazamiento de los atacantes y determinar las zonas con mayor actividad balística, especialmente en la biblioteca, los pasillos y sectores próximos a la cafetería. Asimismo, el análisis de los daños

producidos por proyectiles e impactos contribuyó a correlacionar la evidencia física con los hallazgos documentados en los informes médico-legales y de investigación.

Dado que la presente investigación se basa en documentación histórica y pericial previamente publicada, las interpretaciones desarrolladas corresponden a una reconstrucción académica fundamentada en evidencia secundaria y no a un examen directo de los elementos balísticos originales.

Tabla 2. Proyectiles y municiones identificadas

Evidencia balística	Características	Relación forense
Casquillos calibre 9 mm	Disparos semiautomáticos	Identificación de armas utilizadas
Proyectiles deformados	Impacto contra superficies	Reconstrucción de trayectorias
Munición de escopeta	Amplia dispersión	Daños a corta distancia
Restos balísticos	Evidencia física en escena	Correlación criminalística

3.4. Trayectorias balísticas

El estudio de las trayectorias balísticas constituye uno de los elementos más relevantes para la reconstrucción criminalística del caso Columbine. A partir de la documentación fotográfica, los informes técnicos y la localización de impactos en paredes, ventanas, puertas y mobiliario, fue posible identificar múltiples direcciones de disparo compatibles con los desplazamientos registrados durante el ataque.

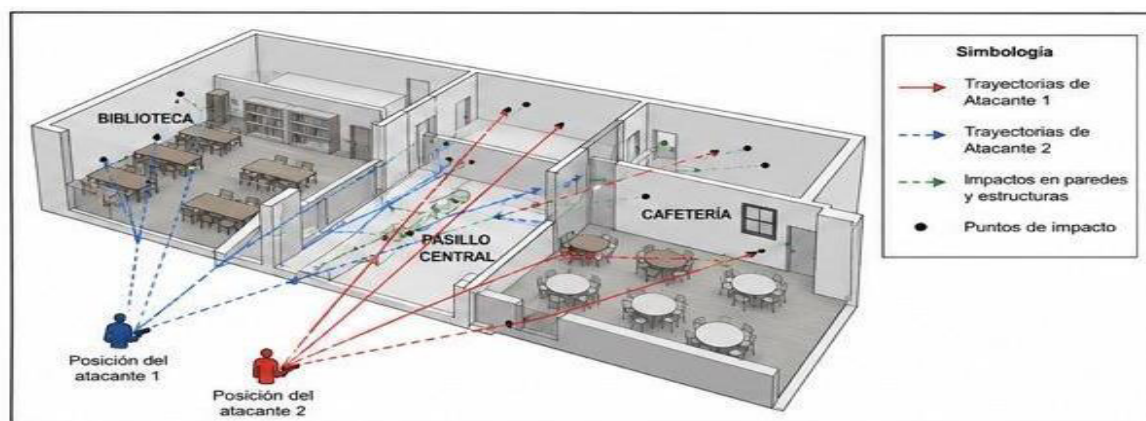
La distribución de impactos evidenció la existencia de trayectorias con distintos ángulos de incidencia, lo que permitió inferir cambios constantes de posición por parte de los atacantes dentro de espacios cerrados. De igual manera, la localización de casquillos percutidos en diferentes sectores resultó consistente con la movilidad observada durante el desarrollo de los hechos.

La correlación entre trayectorias, impactos y distribución de evidencia balística permitió formular una reconstrucción técnica razonada sobre la dinámica general de los disparos, sin pretender establecer con certeza absoluta cada secuencia individual ocurrida durante el evento.

Tabla 3. Análisis de trayectorias balísticas

Elemento analizado	Hallazgo	Importancia forense
Impactos en paredes	Diferentes ángulos de incidencia	Reconstrucción de disparos
Casquillos percutidos	Distribución en varias áreas	Determinación de desplazamientos
Daños estructurales	Impactos múltiples	Identificación de zonas de disparo
Trayectorias proyectiles	Direcciones variables	Reconstrucción dinámica del ataque

Figura 12. Representación esquemática de trayectorias balísticas dentro de Columbine High School.



Fuente: Elaboración propia con base en análisis balístico forense.

Fuente: Elaboración propia mediante representación ilustrativa de trayectorias balísticas.

3.5. Reconstrucción dinámica de disparos

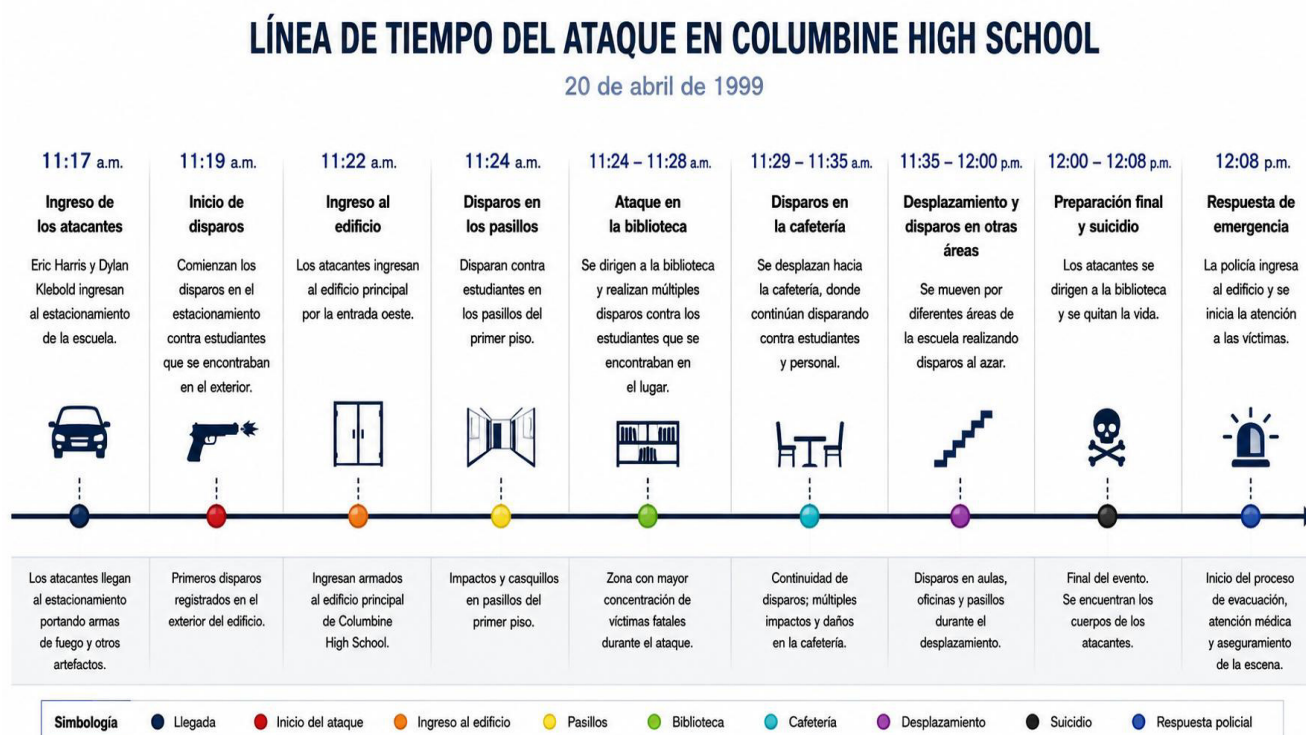
La reconstrucción dinámica de los disparos constituye uno de los principales aportes de la balística forense al análisis del caso Columbine. A partir de la distribución de casquillos, la localización de impactos y la documentación técnica disponible, fue posible establecer patrones de desplazamiento compatibles con los movimientos realizados por los atacantes durante las diferentes fases del evento.

Los registros balísticos evidenciaron una alta concentración de impactos en áreas específicas, particularmente en la biblioteca y sectores de circulación interna de la institución. La orientación de diversos impactos sobre paredes, puertas, ventanas y mobiliario permitió identificar múltiples direcciones de disparo, consistentes con cambios continuos de posición dentro de espacios cerrados.

La dispersión de casquillos percutidos en distintos puntos de la escena también aportó información relevante sobre la movilidad de los atacantes y la utilización de diferentes armas durante el ataque. Estos hallazgos, analizados conjuntamente con la evidencia fotográfica y los informes oficiales, permitieron desarrollar una reconstrucción técnica razonada de la dinámica general de los hechos.

No obstante, debido a la complejidad de la escena y a las limitaciones inherentes al análisis de documentación histórica, la presente investigación plantea una interpretación reconstructiva sustentada en evidencia secundaria, evitando atribuir certeza absoluta a cada secuencia individual de disparos documentada.

Figura 13. Línea de tiempo del ataque en Columbine High School.



La presente línea de tiempo constituye una reconstrucción académica elaborada a partir de informes oficiales y fuentes documentales consultadas. No representa una cronología pericial original desarrollada sobre evidencia bajo cadena de custodia.

Tabla 4. Reconstrucción dinámica de disparos

Evidencia analizada	Hallazgo técnico	Interpretación criminalística
Casquillos percutidos	Distribución en múltiples sectores	Movilidad de los atacantes

Impactos estructurales	Diferentes ángulos de incidencia	Variación de posiciones de disparo
Daños en mobiliario	Concentración en áreas específicas	Zonas de mayor actividad balística
Trayectorias documentadas	Direcciones múltiples	Reconstrucción dinámica del evento
Correlación espacial de evidencia	Relación entre impactos y desplazamientos	Secuencia probable de movimientos

Tabla 5. Relación entre impactos y desplazamientos

Evidencia	Hallazgo	Interpretación forense
Impactos en paredes	Diferentes alturas y direcciones	Variabilidad de posiciones
Casquillos distribuidos	Presencia en varias áreas	Desplazamientos continuos
Daños en mobiliario	Concentración de impactos	Zonas de mayor actividad
Trayectorias múltiples	Direcciones distintas	Movilidad dentro de la escena

3.6. Limitaciones técnicas de la investigación balística en 1999

La investigación balística desarrollada tras los hechos de Columbine estuvo condicionada por las capacidades tecnológicas disponibles en 1999. En aquel momento, las herramientas de reconstrucción tridimensional, modelado digital avanzado y simulación virtual de trayectorias

aún no se encontraban ampliamente integradas a las investigaciones criminalísticas, lo que limitaba la precisión de ciertos análisis reconstructivos.

La magnitud de la escena, la elevada cantidad de impactos documentados y la dispersión de evidencia balística en múltiples áreas incrementaron significativamente la complejidad investigativa. Estas circunstancias exigieron una correlación minuciosa entre casquillos, proyectiles, daños estructurales y testimonios recopilados durante la investigación.

A pesar de estas limitaciones, los peritajes realizados permitieron documentar elementos fundamentales para la reconstrucción del ataque. Sin embargo, desde una perspectiva contemporánea, es posible considerar que herramientas actualmente disponibles habrían permitido obtener representaciones espaciales más precisas y una integración más eficiente entre la evidencia balística, audiovisual y médico-legal.

Tabla 6. Limitaciones técnicas de la investigación balística en 1999

Limitación	Impacto en la investigación
Tecnología digital limitada	Dificultad en reconstrucciones precisas
Ausencia de modelado avanzado	Menor precisión en trayectorias
Complejidad de la escena	Gran cantidad de evidencia balística
Integración tecnológica reducida	Limitaciones en análisis multidisciplinario

3.7. Aplicación de tecnologías balísticas modernas

Los avances tecnológicos desarrollados durante las últimas décadas han transformado significativamente la investigación balística forense, permitiendo reconstrucciones más precisas y una mejor integración de la evidencia física dentro de escenarios complejos. Actualmente, herramientas como el modelado tridimensional, la fotogrametría digital, la simulación virtual de trayectorias y los sistemas automatizados de identificación balística facilitan la documentación y el análisis detallado de escenas relacionadas con armas de fuego.

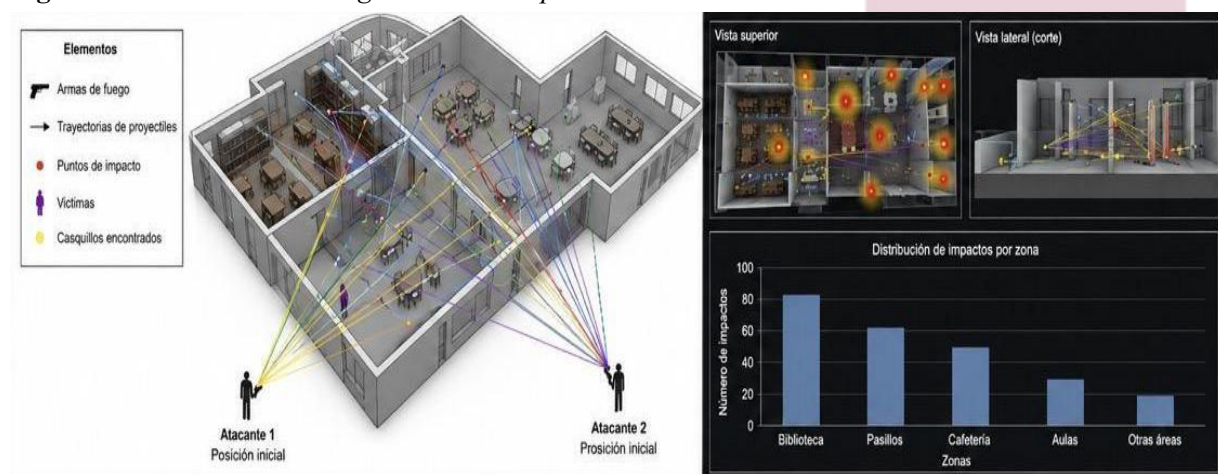
En un caso como Columbine, la aplicación de estas tecnologías habría permitido generar modelos tridimensionales de la escena, analizar trayectorias de proyectiles con mayor precisión espacial y recrear virtualmente los desplazamientos documentados durante el ataque. Del mismo modo, la integración de información balística con registros audiovisuales y hallazgos médico-legales habría favorecido una reconstrucción más completa de la dinámica de los hechos.

Asimismo, sistemas modernos de comparación balística, como las plataformas automatizadas de identificación de casquillos y proyectiles, permiten establecer relaciones entre armas y evidencia recuperada con niveles de precisión superiores a los disponibles durante la investigación original. Estas herramientas representan actualmente un apoyo fundamental para la reconstrucción criminalística de eventos complejos y de alta multiplicidad de evidencia.

Tabla 7. Tecnologías balísticas modernas

Tecnología	Aplicación forense
Modelado 3D	Reconstrucción espacial
Fotogrametría digital	Medición de escenas
Comparación balística automatizada	Relación arma-evidencia
Simulación virtual	Recreación dinámica

Figura 14. Reconstrucción digital balística aplicada al análisis criminalístico del caso Columbine.



Nota metodológica: Imagen de carácter ilustrativo elaborada con fines académicos y reconstructivos. No corresponde a evidencia original del caso ni constituye una representación pericial oficial.

3.8. Correlación balística con medicina legal y evidencia audiovisual

La interpretación integral del caso Columbine requiere la correlación de la evidencia balística con los hallazgos médico-legales y los registros audiovisuales disponibles. Cada una de estas disciplinas aporta información complementaria que permite comprender con mayor precisión la dinámica del evento investigado.

Desde la balística forense, el análisis de trayectorias, impactos y distribución de casquillos proporciona información sobre posiciones de disparo y desplazamientos. La medicina legal permite relacionar estos hallazgos con los mecanismos lesionales documentados en las víctimas, mientras que la evidencia audiovisual contribuye a establecer referencias temporales y espaciales para la reconstrucción de determinados acontecimientos.

La integración de estas fuentes de información permitió desarrollar una interpretación reconstructiva más sólida de los hechos, manteniendo siempre las limitaciones propias de una investigación basada en documentación histórica y evidencia secundaria.

Tabla 8. Correlación multidisciplinaria de evidencia

Disciplina	Aporte investigativo
Balística forense	Trayectorias e impactos
Medicina legal	Lesiones y causas de muerte
Audio y video forense	Cronología y desplazamientos
Integración criminalística	Reconstrucción integral del caso

Nota sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

3.8.1. Hallazgos relevantes del análisis balístico

Hallazgos relevantes del análisis balístico

- Identificación de múltiples trayectorias de disparo en espacios cerrados con distintos ángulos de incidencia.
- Concentración significativa de impactos balísticos en la biblioteca y zonas de circulación interna.
- Utilización combinada de armas semiautomáticas calibre 9 mm y escopetas calibre 12.
- Distribución espacial de casquillos compatible con desplazamientos continuos de los atacantes.
- Correlación entre evidencia balística, daños estructurales y hallazgos médico-legales documentados.
- Reconstrucción técnica de patrones generales de disparo a partir de evidencia histórica y documentación oficial.

3.9. Conclusiones del análisis balístico

1. El análisis balístico del caso Columbine permitió identificar las armas y municiones utilizadas durante el ataque, estableciendo relaciones entre proyectiles, casquillos e impactos documentados en las diferentes áreas de la institución educativa.

2. El estudio de trayectorias, daños estructurales y distribución de evidencia balística permitió formular una reconstrucción técnica razonada de la dinámica general de los disparos y de los desplazamientos realizados por los atacantes durante el evento.
3. La correlación entre evidencia balística, hallazgos médico-legales y registros audiovisuales contribuyó a fortalecer la interpretación reconstructiva de los hechos, permitiendo una comprensión más amplia de la secuencia general del ataque.
4. La investigación evidenció las limitaciones tecnológicas existentes en 1999 para el análisis y reconstrucción de escenas complejas, así como el potencial que ofrecen actualmente las herramientas digitales de modelado tridimensional, simulación virtual e integración multimedia.
5. Debido a que el presente estudio se fundamenta en documentación histórica y fuentes secundarias, las conclusiones obtenidas deben entenderse como una reconstrucción académica sustentada en evidencia documental, sin constituir una pericia directa sobre los elementos materiales originales del caso.
6. La balística forense demostró ser una disciplina esencial para la interpretación criminalística del caso Columbine, al proporcionar información técnica relevante sobre trayectorias, posiciones de disparo, desplazamientos y correlación de evidencia dentro de una escena de alta complejidad.

CAPÍTULO CUATRO

4. Análisis de medicina legal aplicado al caso Columbine

Después del tiroteo se evidenciaron 15 occisos incluyendo a los autores del crimen, entre tantos documentos de investigación, las autopsias de los implicados se querían de dominio público, a lo que algunas familias como la de Dylan Klebold (autor) se negaban a que fuera revelada, al cabo de unos años dicho documento médico legal fue de dominio público para desmentir rumores entorno a la muerte de Dylan.

Algunos expedientes como el de Daniel Rohrbough (víctima) fue publicado en su totalidad, por disposición del juez Brooke Jackson para esclarecer rumores acerca de una muerte a manos de la policía, junto con este, también fueron publicados los resúmenes de las autopsias de los demás fallecidos.

Desde el contexto médico legal podemos describir un homicidio múltiple con un componente suicida, de etiología violenta, suscitado en un establecimiento educativo en donde se utilizaron tanto armas de fuego como artefactos explosivos caseros.

4.2 Análisis de las escenas del crimen

Víctimas: 13, estudiantes 12 8 varones y 4 mujeres, un profesor.

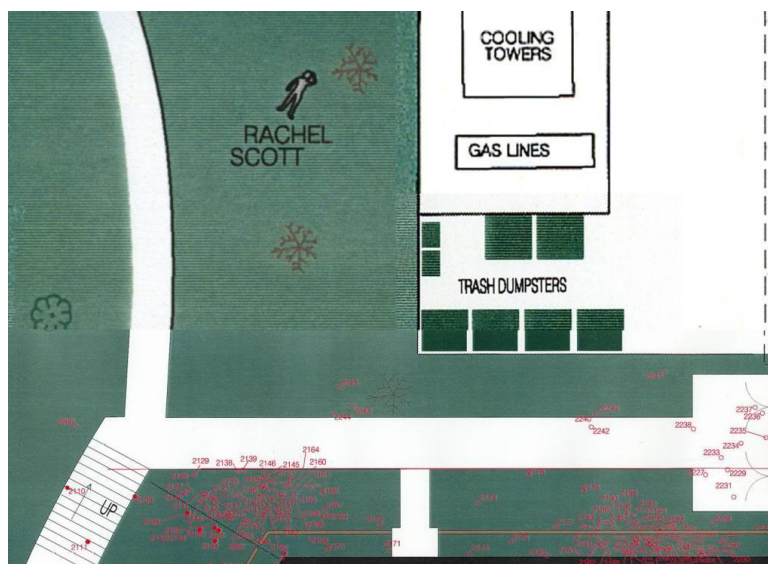
Perpetradores: 2

Escena N.-1: Entrada oeste.

Cuerpo #1: Rachel Scott, fue encontrada en el exterior del edificio, vestida de camisa a cuadros manga larga por encima una camisa de tirantes negra tipo bivi, pantalones oscuros con un

detalle rayado blanco en vertical a ambos lados. Junto con el sobreviviente Richard Castaldo, posteriormente el cuerpo #1 fue arrastrado por el equipo de rescate para que no fuera tan visible.

Figura. 17.



Croquis del cuerpo hallado por SWAT.

Cuerpo #2: Daniel Rohrbough, quien fue hallado en el exterior cerca de las escaleras, vistiendo camiseta verde y jeans y zapatos negros.

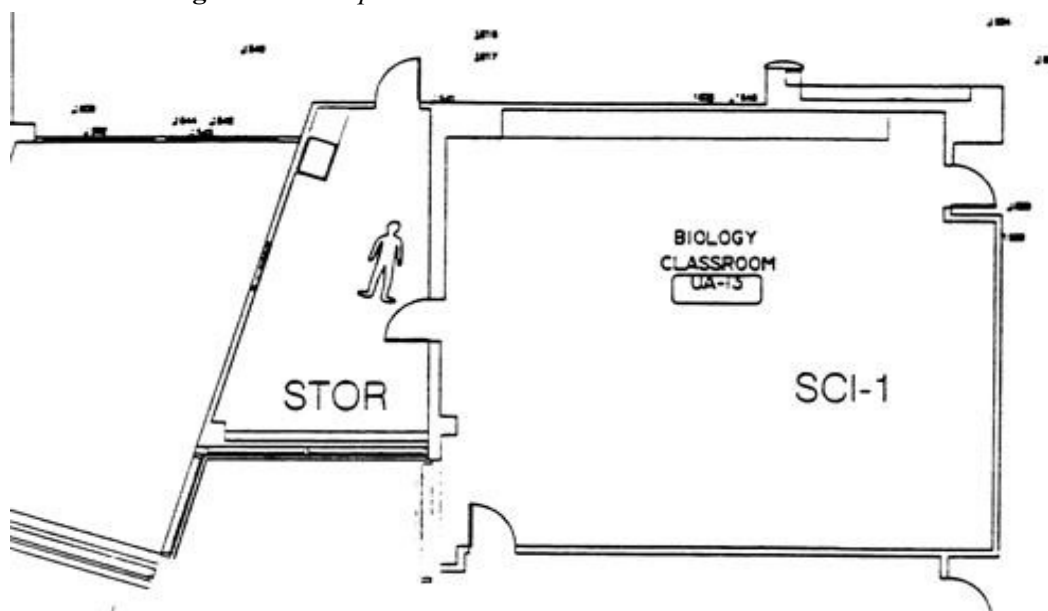
Figura 18. *Posición inicial del cuerpo*



Escena N.-2: Laboratorio.

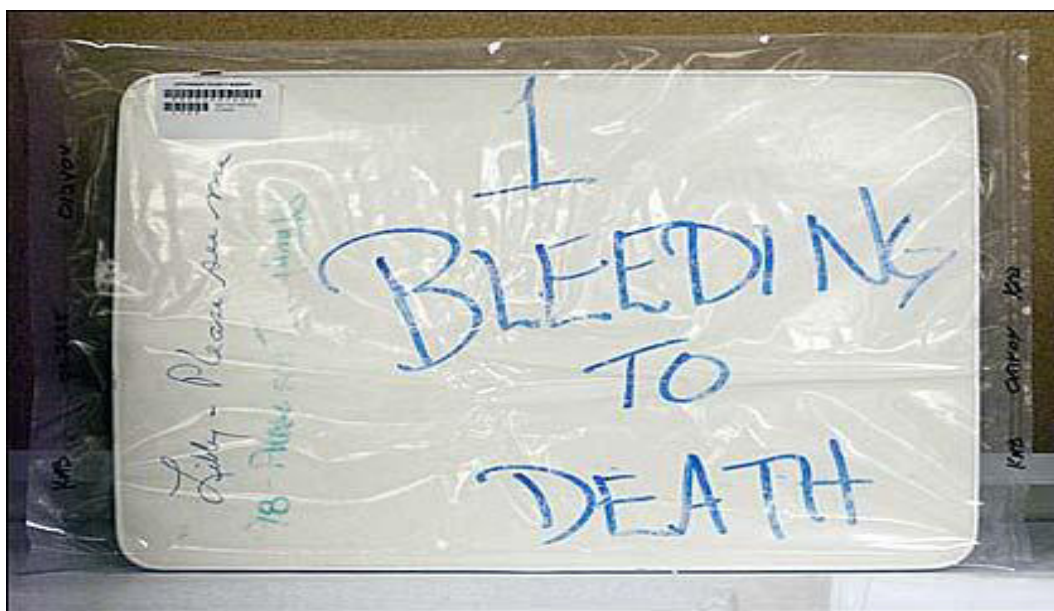
Cuerpo#3: Dave Sanders, hallado en la bodega en el aula de laboratorio de biología, se encontraba en decúbito supino, y su cabeza en posición norte, se encontró con el cuerpo descubierto, poseía una camisa azul y otra blanca, se habían cortado hasta la cintura. Además, bajo el cuerpo una camisa y en l parte superior de su cabeza un buzo de color gris, se presume que estas dos últimas prendas no pertenecían a la víctima, posterior a ello se siguió un rastro de sangre, que continuaba hacia otra aula, en la chapa de la puerta había sangre, a lo largo del pasillo se hallaban prendas de ropa con manchas hemáticas, así como se encontraba un fragmento de diente en el suelo y una parte de camisa azul.

Figura 19. *Cuerpo de Dave Sanders hallado en la sala de almacenamiento.*



En el suelo, en una esquina había una pizarra blanca en la que se escribió “1 bleeding to death”. En esta escena se concluye que el cuerpo de Sanders había sido movido, de hecho, existen declaraciones en donde los estudiantes intentaron darle RCP.

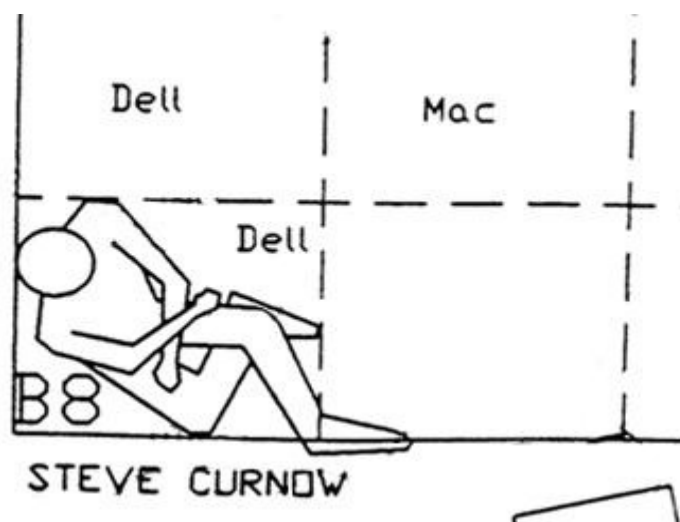
Figura 20. Pizarra hallada en el aula de laboratorio



Escena N.-3: Biblioteca

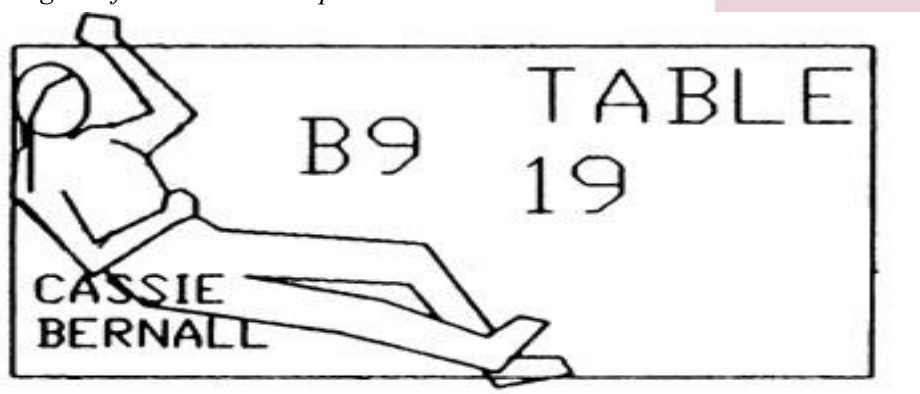
Cuerpo #4: Kyle Velasquez, hallado en el suelo en decúbito lateral derecho doblado a la altura de la cadera con la pierna derecha flexionada bajo la izquierda, con su brazo derecho bajo su cabeza. vestí un abrigo azul y verde, pantalones negros.

Figura 21. *Imagen referencial del cuerpo hallado*



Cuerpo #6: Cassie Bernall, hallado bajo la mesa #19, se encontraba en posición semisentada, vestía una camiseta verde de manga corta, se encontraron restos hemáticos en el lado derecho de su rostro y mano.

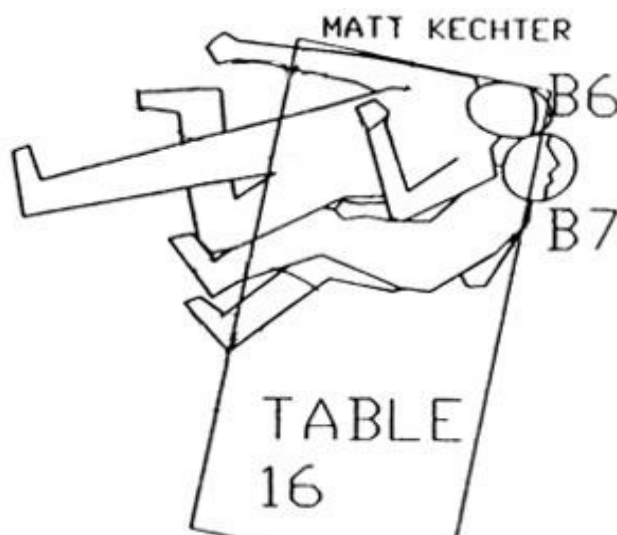
Figura 22. *Imagen referencial del cuerpo hallado*



Cuerpo #7: Matt Kechter, se halló con su espalda apoyada en la mesa #16, la extremidad inferior derecha estaba en hiperextensión mientras que la extremidad inferior izquierda se encontraba doblada bajo su muslo.

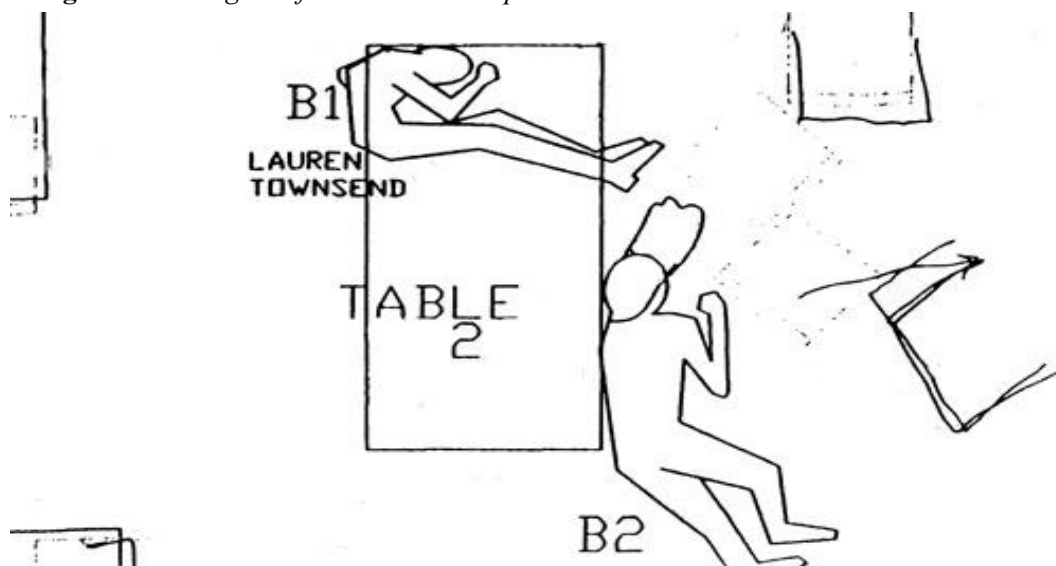
Cuerpo #8: Isaiah Shoels, se encontraba ligeramente más abajo de Kechter de cara contra el suelo.

Figura 23. *Imagen referencial del cuerpo hallado*



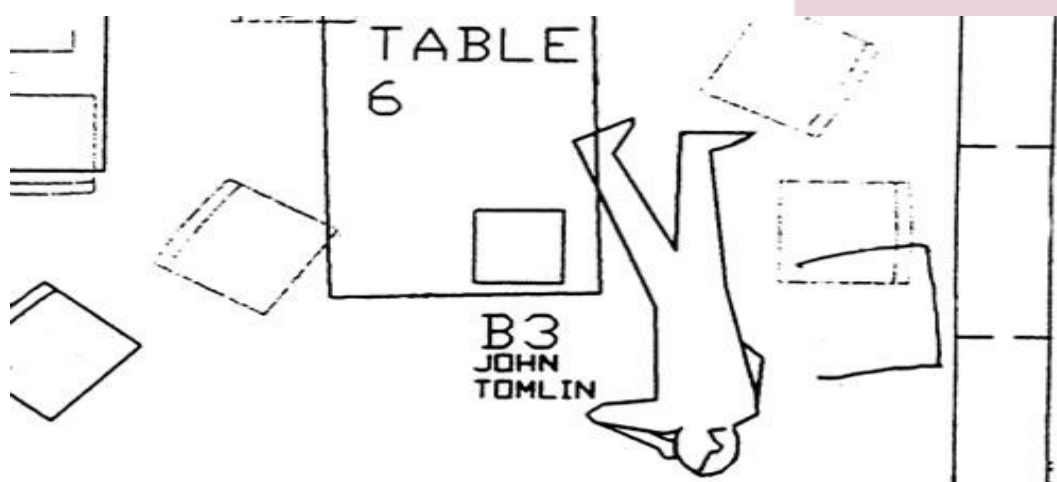
Cuerpo #9: Lauren Townsend, hallada en la mesa 2 tumbada sobre su costado izquierdo doblada en su cintura, vestía blusa azul pantalones jeans, se pudo observar múltiples agujeros en la parte posterior de la blusa.

Figura 24. *Imagen referencial del cuerpo hallado*



Cuerpo #10: John Tomlin, encontrado en decúbito prono junto a la mesa #6, múltiples fragmentos de madera alrededor de su cuerpo,

Figura 25. *Imagen referencial del cuerpo hallado*



Cuerpo #11: Kelly Fleming, hallada en decúbito prono en la mesa #2, vestía camiseta negra y pantalones jeans. Una herida de bala provocada por un disparo de escopeta en zona inferior izquierda de la espalda.

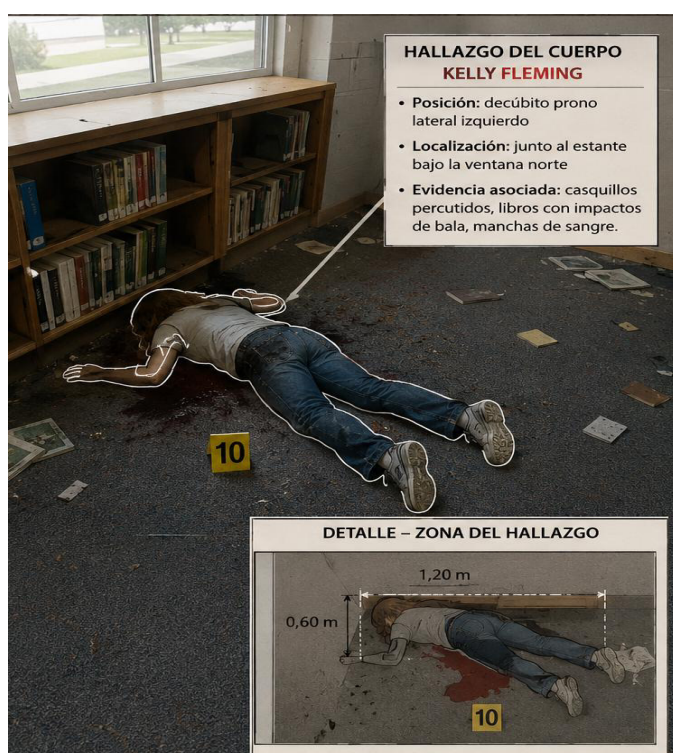
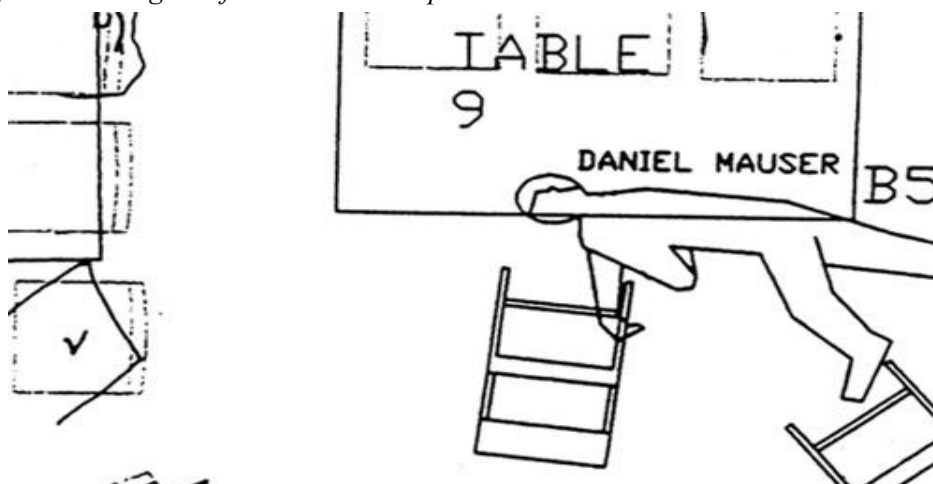


Figura 26. *Figura 26. Representación gráfica referencial elaborada mediante inteligencia artificial del hallazgo del cuerpo de Kelly Fleming.*

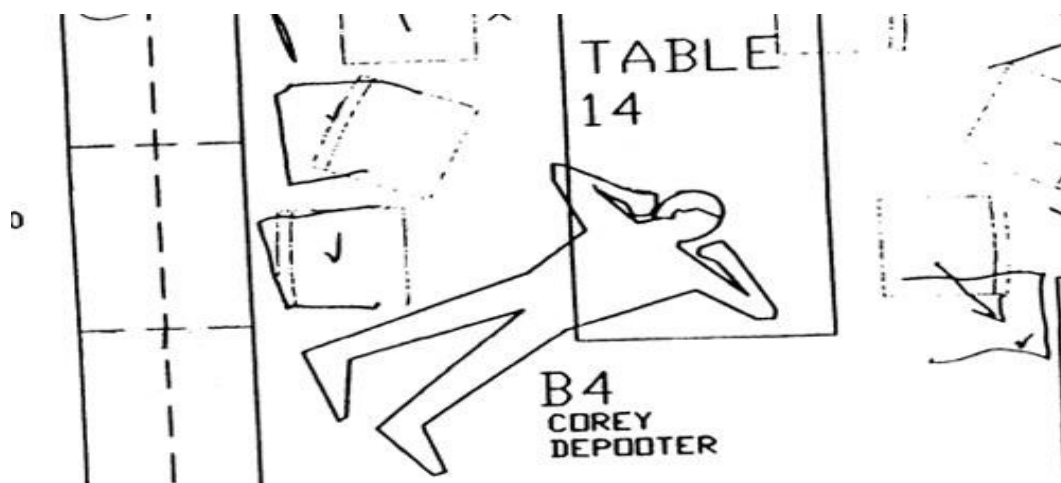
Cuerpo #12: Daniel Mauser, hallado bajo la mesa 5 sección central de la biblioteca, en decúbito prono con brazo derecho extendido y la muñeca reposando sobre las patas de la silla. varios fragmentos de madera se habían clavado en el cuerpo de la víctima

Figura 27. *Imagen referencial del cuerpo hallado*



Cuerpo #13: Corey DePooter, última víctima hallada en decúbito prono en la mesa #14, se hallaba además una gran mancha hemática desde la parte posterior del cuello y zona superior del pecho debajo del pecho. se halló además una gram mancha hemática en la parte posterior de su camiseta, pero no era de él, era de Jennifer Doyle.

Figura 28. Imagen referencial del cuerpo hallado



4.3 Resumen médico-legal de autopsias y lesiones de las víctimas fatales del caso Columbine.

N#	Nombre y edad	Localización anatómica de las lesiones	Tipo de lesión	Causa de muerte
1	Rachel Scott, 17 años, Femenina	1. sien izquierda (orificio de entrada) parietal derecha (orificio de salida), 2. tórax, zona inferior izquierda (orificio de entrada) zona superior derecha (orificio de salida). 3. extremidades en brazo izquierdo. 4. una en el muslo	Múltiples heridas penetrantes por arma de fuego	traumatismo por proyectil a mediana distancia

		izquierdo.		
2	Daniel Rohrbough, 15 años, masculino	1. abrasión en mejilla derecha 2. hematomas de lado derecho 3. herida de bala en zona superior izquierda del pecho 4. herida en lado izquierdo del abdomen 5. herida en rodilla orificio tanto de entrada como de salida 6. herida de salida en espalda parte superior derecha.	- heridas causadas por caída desde su propia altura -heridas por arma de fuego	heridas torácicas penetrantes por proyectil, además de disparos adicionales en proximidad.
3	Dave Sanders, 47 años, masculino	1. herida en mandíbula superior, provoca pérdida de dos dientes 2. herida de bala en la zona inferior izquierda del cuello 3. herida en parte delantera de su hombro derecho (y luego otra en posterior) 4. herida de bala en la espalda.	heridas múltiples por arma de fuego	supervivencia prolongada antes del fallecimiento aproximadamente 2 horas posteriores. traumatismo torácico por arma de fuego
4	Kyle Velasquez, 16 años,	1. herida en la parte superior de la cabeza con 7 agujeros.	heridas múltiples por arma de fuego	traumatismo craneoencefálico por proyectil, en

	masculino	2. herida de entrada en hombro derecho y salida en columna lumbar.		trayectoria descendente, lesión inmediatamente letal
5	Steven Curnow, 14 años, masculino	1. herida tangencial en hombro derecho y otra que perforó su cuello, orificio de entrada derecho y salida izquierda.	herida penetrante por arma de fuego	lesiones torácicas penetrantes, a corta distancia
6	Cassie Bernall, 17 años, femenino	1. herida catalogada defensiva en dedo medio de mano derecha 2. herida en zona temporal de izquierda a derecha	herida craneal por arma de fuego	disparo de proximidad, muerte instantánea
7	Matthew Kechter, 16 años, masculino	1. herida en tórax de izquierda a derecha perforando pulmón derecho 2. abrasiones en mano izquierda por posibles quemaduras.	herida perforante por arma de fuego	Lesiones a corta distancia, incompatibles con la vida.
8	Isaiah Shoels, 18 años, masculino	1. herida perforante de brazo izquierdo, que atraviesa su pecho, de forma transversal de izquierda a derecha, orificio de salida por debajo de su axila del	herida penetrante por arma de fuego.	traumatismo toracoabdominal por proyectil

		mismo lado.		
9	Lauren Townsend, 18 años, femeninos	1. heridas en tórax 2. orificio en extremidad superior izquierda	heridas penetrantes múltiples	traumatismo torácico por arma de fuego, impactos multidireccionales, mayor número de heridas
10	John Tomlin, 16 años, masculino	1. Tres proyectiles en orificio de entrada por el área de la cabeza y cuello, orificio de salida por lado izquierdo. 2. heridas de tórax, compatibles con municiones de escopeta.	heridas múltiples perforantes	traumatismo craneal torácico penetrante, disparos de proximidad con blanco determinado.
11	Kelly Fleming, 16 años, femenina	1. múltiples lesiones en ráfaga por la parte inferior izquierda de su espalda y de forma ascendente. Ángulo trazado en el interior del cuerpo indicaba que la víctima estaba posicionada casi boca abajo.	herida penetrante por arma de fuego	lesión torácica penetrante, causa de shock hipovolémico trayectoria postero-anterior, muerte rápida.
12	Daniel Mauser, 15 años masculino	1. fractura en huesos nasales 2. laceración circular en la pared posterior de	herida perforante por arma de fuego	fractura de cuello en C2 a C5 asociada con lesión en la

		orofaringe 3. Fracturas de cuello C2 a C5 4. hemorragia subaracnoidea hemisferio derecho 5. Conmoción en médula oblongada		médula espinal por arma de largo calibre
13	Corey DePooter, 17 años, masculino	1. múltiples heridas penetrantes en cuello y pecho, orificio de entrada indeterminado, orificio de salida en pecho 2. hemotórax 3. Fractura en 5ta costilla 4. Lesión perforante en brazo izquierdo	múltiples heridas penetrantes y perforantes	traumatismo cervicotorácico por proyectil

4.4 Hallazgo de los cuerpos de los autores del crimen

Los cuerpos tanto de Dylan Klebold con de Eric Harris fueron hallados en la esquina sur oeste de la biblioteca, en la mesa #15, la causa de la muerte fueron lesiones autoinfligidas.

Cuerpo #14: Dylan Klebold, se halló en decúbito supino, alrededor de su mano derecha se encontraba una empuñadura de la pistola TEC-9, alrededor se encontraba cinta adhesiva gris con papel de lija para encender los fósforos, vestía una camiseta que llevaba estampado “Wrath (ira)”, un cuchillo de tamaño grande se encontraba alrededor de su cinturón, su rostro manchado de sangre y por debajo un gran charco de sangre. Se analiza que la cabeza de Klebold

permaneció apoyada en su sien derecha por que se evidenciaron flujos de sangre corriendo hacia el lado contrario.

Figura 29. *Imagen real del cuerpo de Klebold y Harris*



Cuerpo #15: Eric Harris

El cuerpo fue hallado lateralmente del de Klebold, la parte superior de su espalda estaba apoyada en el estante de libros el cráneo se encontraba expuesto en la parte superior, el lado derecho de su cara como su brazo derecho estaban con restos hemáticos, un fragmento de cráneo fue hallado en su pantorrilla izquierda.

Figura 30. *Imagen real del cuerpo de Klebold y Harris*



4.5 Hallazgos tanatológicos y balísticos de los perpetradores

N#	Nombre y edad	Localización anatómica de las lesiones	Tipo de lesión	Causa de muerte
14	Dylan Klebold	1. orificio en la región temporal izquierda. 2. lesiones cerebrales 3. fractura de cráneo 4. hemorragia subdural	Contacto cercano con arma de gran calibre	Lesión cerebral secundaria a contacto cercano del arma. Autoinfligida
15	Eric Harris	1. Laceraciones extensas en el cuero cabelludo y tejidos blandos de la cara. 2. Fractura masiva del cráneo 3. Evacuación de la masa encefálica, corteza cerebral	Disparo de alta energía en el paladar	lesión masiva en cráneo secundario a disparo en el paladar. Autoinfligida

CAPÍTULO CINCO

5. CONCLUSIONES Y APLICACIONES

5.1. Conclusiones generales

La presente investigación articuló una reconstrucción criminalística integral del caso Columbine mediante el abordaje multidisciplinario del análisis audiovisual forense, la balística reconstructiva y la medicina legal. Este enfoque evidenció la necesidad metodológica de unificar diversas disciplinas periciales para el esclarecimiento de hechos de alta complejidad fáctica.

El estudio analítico determinó que dicho suceso constituye un paradigma dentro de la criminalística contemporánea, derivado del vasto acervo probatorio —audiovisual, balístico y médico-forense— recuperado durante la etapa de instrucción.

Asimismo, se constató que la evolución tecnológica ha transformado sustancialmente los protocolos aplicados en la investigación criminal. Los instrumentos de vanguardia, tales como el procesamiento digital avanzado de señales, la fotogrametría tridimensional, el análisis balístico automatizado y los algoritmos de inteligencia artificial, proveen actualmente umbrales de precisión optimizados para el tratamiento de evidencia material compleja.

Finalmente, se concluye que la praxis criminalística multidisciplinaria resulta imprescindible en la investigación forense moderna, particularmente en escenarios de victimización en masa.

En estos contextos, la correlación sistemática de ciencias auxiliares fortalece el valor probatorio, optimiza la teoría del caso y contribuye al desarrollo epistemológico de las ciencias forenses.

5.2. Conclusiones específicas

- **Análisis Audiovisual Forense:** La evaluación técnica del material audiovisual mediante procesamiento digital optimizó el registro analógico y mitigó las interferencias acústicas de las llamadas de emergencia. Esto determinó la secuencia cronológica de los hechos y la ruta de desplazamiento de los victimarios.
- **Balística Reconstructiva:** El estudio de los elementos balísticos (casquillos, calibres, trayectorias e impactos) en entornos confinados determinó la dinámica de los disparos y la movilidad de los agresores, específicamente en la biblioteca y áreas periféricas.
- **Correlación Médico-Legal:** El análisis de los protocolos de necropsia vinculó las lesiones y los mecanismos de muerte con la evidencia balística recuperada. Esta confrontación probatoria validó la mecánica de las lesiones en víctimas y victimarios.
- **Integración Multidisciplinaria:** La triangulación del análisis audiovisual, la balística y la medicina legal consolidó la reconstrucción criminalística del suceso. La correlación entre la acústica de las detonaciones, las trayectorias y los daños anatómicos esclareció la dinámica del hecho y neutralizó las discrepancias de análisis precedentes.

- **Abordaje en Escenarios Complejos:** Los hallazgos demuestran que la convergencia interinstitucional y científica es imperativa en la criminalística contemporánea para el abordaje metodológico de escenarios de victimización en masa, garantizando un mayor umbral de certeza.
- **Evolución Tecnológica Forense:** El examen comparativo de las ciencias forenses desde 1999 hasta la actualidad constató que la transición hacia la fotogrametría tridimensional, los algoritmos de inteligencia artificial y el procesamiento digital avanzado incrementó la eficiencia y precisión en la investigación criminal.

5.2.2. Contribución a la gestión empresarial

- **Fortalecimiento Protocolar:** Desde la perspectiva operativa y del procesamiento técnico en el lugar de los hechos, esta investigación robustece los protocolos de cadena de custodia y procesamiento de indicios en escenarios con múltiples víctimas y de alta complejidad criminalística.
- **Sinergia Interdisciplinaria:** Los hallazgos demuestran la necesidad metodológica de una coordinación interinstitucional y transdisciplinaria entre los laboratorios forenses, superando los compartimentos estancos y los análisis aislados que fragmentan la comprensión holística del iter criminis.
- **Vanguardia Tecnológica Forense:** La convergencia de la fotogrametría tridimensional y el análisis forense digital optimiza el rendimiento metodológico,

incrementa la eficiencia pericial y mitiga el margen de error en la emisión de dictámenes periciales.

- **Sustento en Sede Judicial:** Esta rigurosidad procedimental provee a los tribunales de justicia elementos de convicción dotados de mayor precisión, fiabilidad y validez científica, facilitando la fundamentación de las resoluciones judiciales.

5.2.3. Contribución a nivel académico

La presente investigación contribuye al fortalecimiento del conocimiento académico en el área de las ciencias forenses dentro de la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) y del programa de Maestría en Criminalística. Asimismo, aporta una visión práctica y multidisciplinaria sobre la aplicación del audio y video forense, la balística y la medicina legal en el análisis de casos de alta complejidad investigativa.

De igual manera, este estudio se constituye como una referencia metodológica para futuras investigaciones académicas, promoviendo el análisis científico basado en evidencia, el pensamiento crítico y la integración de distintas disciplinas forenses para la reconstrucción criminalística de hechos complejos.

Finalmente, la investigación permitió transformar un caso histórico de gran impacto como Columbine en un ejercicio académico de análisis técnico y científico, fortaleciendo el aprendizaje práctico y el desarrollo investigativo dentro de las ciencias forenses contemporáneas.

5.2.4. Contribución a nivel personal

- **Consolidación de Competencias de Posgrado:** El desarrollo del presente estudio propició la consolidación y profundización de las competencias teórico-prácticas correspondientes a la Maestría en Criminalística. Específicamente, potenció la especialización cognitiva en las áreas de análisis audiovisual forense, balística reconstructiva y medicina legal.
- **Desarrollo del Pensamiento Crítico-Analítico:** La investigación estimuló la capacidad analítica y la rigurosidad epistemológica necesarias para la valoración e interpretación del acervo probatorio y la reconstrucción técnica de sucesos de alta complejidad fáctica. Asimismo, fundamentó la praxis pericial sobre los principios rectores de objetividad científica, exactitud metodológica y deontología forense.
- **Reafirmación del Compromiso Deontológico y Judicial:** El proceso investigativo reafirmó el compromiso con la verdad histórica de los hechos a través del método científico y la operatividad transdisciplinaria. Se evidenció que la correcta fijación, procesamiento y análisis de cada indicio material constituye un elemento sine qua non para el esclarecimiento fáctico y el soporte técnico en la administración de justicia.

5.3. Limitaciones a la Investigación

Declaración de Alcance: El presente estudio constituye una reconstrucción estrictamente académica y analítica fundamentada en el examen de fuentes secundarias. No representa, por tanto, una praxis pericial directa ni una intervención técnico-científica sobre los indicios materiales originales del caso.

- **Restricciones del Material Audiovisual:** Las muestras audiográficas correspondientes a los registros de las llamadas de emergencia exhibieron degradación de señal, saturación acústica, contaminación por ruido ambiental y simultaneidad de eventos sonoros. Estas variables físicas restringieron el aislamiento unívoco y la segmentación exacta de las señales de voz, detonaciones y demás estímulos acústicos bajo análisis.
- **Inaccesibilidad a los Indicios Materiales Originales:** Derivado del factor cronológico y de los límites jurisdiccionales aplicables, el examen omitió el análisis directo del acervo probatorio original. El estudio se circunscribió a la evaluación heurística de informes oficiales, registros documentales validados y material audiovisual de acceso público.
- **Anacronismo Tecnológico de la Época:** Los instrumentos analíticos y el software forense disponibles en el año 1999 carecían de los umbrales de resolución, precisión y automatización que caracterizan a las tecnologías contemporáneas. Esta limitación instrumental histórica condicionó el rigor de la reconstrucción integral ejecutada durante la instrucción original del caso.
- **Reserva Específica de la Información Oficial:** Diversos componentes documentales e indiciarios del expediente Columbine permanecen bajo régimen de confidencialidad o restricción parcial por mandato legal. Dicha opacidad informativa impidió el análisis integral de determinados elementos de interés criminalístico y pericial.

ANEXOS

Perfil psicológico de los perpetradores

El análisis psicológico de los autores de este hecho nos lleva a comprender un poco más su psiquis, el investigar cuáles fueron las causas de idear el “crimen perfecto” es importante para comparar antecedentes y hechos posteriores en la cultura estadounidense.

Este crimen fue catalogado como masacre no solo por el número de víctimas, sino también por lo sucedido antes de accionarlo, la planificación, las cintas grabadas por los autores y en ellas, sus afirmaciones de que estarían “en un lugar mejor” luego de cometer el acto.

Un resumen del preludio se basa en las cintas que Eric Harris y Dylan Klebold grabaron desde hace aproximadamente un año, en donde se mostraban eufóricos por planear el hecho, además afirmaban que recibían burlas constantes de sus compañeros de clase y expresaban su odio a los atletas de su escuela, y un constante “los voy a matar a todos” por parte de Dylan. Este pequeño fragmento nos invita a analizar la cultura bully dentro de los establecimientos educativos y en donde casi siempre pasa desapercibida la salud mental de los adolescentes.

En la mañana del 20 de abril de 1999, fecha que llama la atención puesto que es el natalicio de Adolf Hitler, que podría o no ser una coincidencia, en este caso y basado en el análisis de sus diarios se demuestra que no lo fue, ya que ellos sentían una gran empatía por Hitler y portaban signos nazis. Dentro del análisis del caso, las investigaciones tanto en documentales como “zero hour” y en documentos legales y médico legales que son de dominio público, llama la atención como se cumplió con cada demanda establecida en el cronograma, tal cual estaba

escrito en los diarios (figura 15 y 16), llama la atención la determinación y el compromiso de los autores, como si su vida dependiera de ello, y, literalmente fue así.

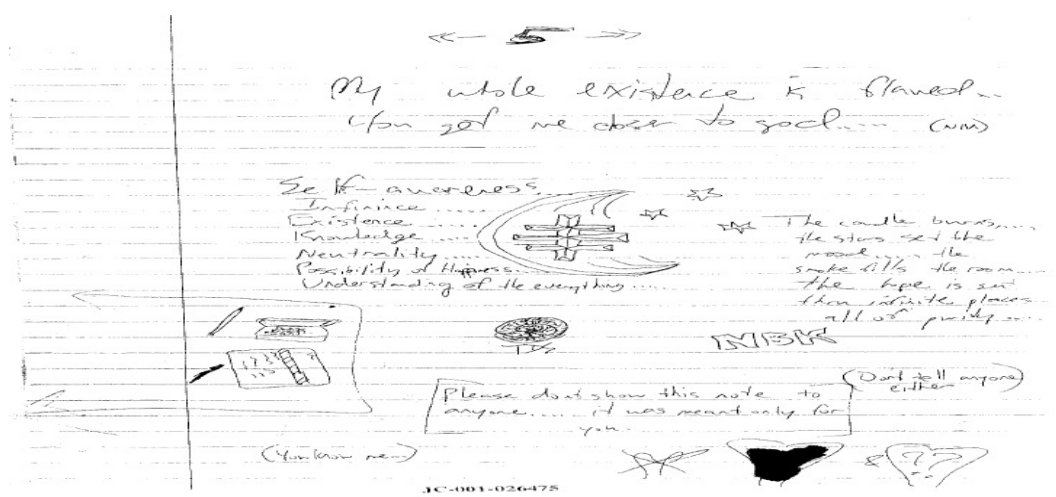


Figura 15. “Natural born to kill”.

Página extraída del diario de Dylan Klebold, se evidencia las siglas “NBK”

Existen varios términos para intentar definir a los autores de este tipo de casos, según el análisis conductual se denominan (spree killers) que se refiere a “asesinos erráticos”

Figura 16.

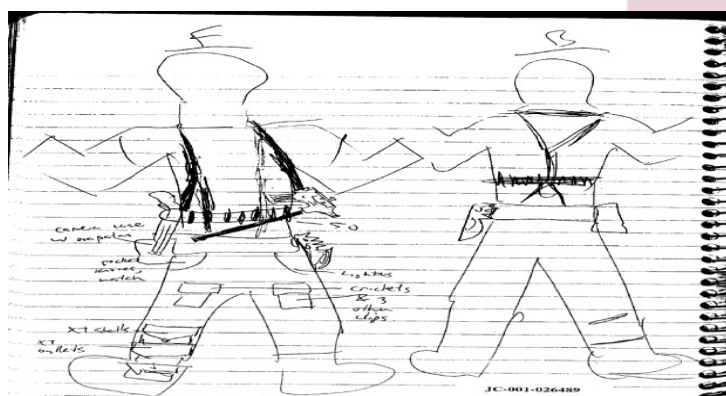


Ilustración frontal y posterior realizada por Dylan Klebold.

BIBLIOGRAFÍAS

- A Columbine Site. (s.f.). *The Columbine High School massacre*. acolumbinesite.com
- American Academy of Forensic Sciences. (2020). *Standards and guidelines for forensic investigations*. AAFS.
- Berti, A. (2017). *Manual de criminalística moderna*. Editorial Jurídica Continental.
- Cariño Rocha, E. de J. (2017). *La masacre del Columbine: asesinos por naturaleza* (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México). Repositorio Institucional de la UNAM. unam.mx
- Córdova, J. (2018). Análisis acústico y espectrográfico aplicado a investigaciones penales. *Revista Latinoamericana de Criminalística*, 12(3), 45–59.
- DiMaio, V. J. M. (1999). *Gunshot wounds: Practical aspects of firearms, ballistics, and forensic techniques* (2.^a ed.). CRC Press.
- Jefferson County Sheriff's Office. (2000). *The Columbine High School Massacre: Official Report*. Jefferson County Sheriff's Department.
- Larkin, R. W. (2007). *Comprehending Columbine*. Temple University Press. jstor.org
- Morales, R., y Sánchez, P. (2020). Técnicas de autenticación y mejoramiento de video en investigaciones criminales. *Revista Internacional de Ciencias Forenses*, 8(2), 80–94.
- Muschert, G. W. (2007). The Columbine victims and the myth of the juvenile superpredator. *Youth Violence and Juvenile Justice*, 5(4), 351–366.
- Newman, K. S. (2004). *Rampage: The social roots of school shootings*. Basic Books.