

ULTRA.

QUANTUM

3D MICROSCOPE™

Qué esperar de la llegada
del Microscopio Quantum 3D

DOCUMENTO **INFORMATIVO**

Por Ronald Nichols

Examinador de armas de fuego y marcas de herramientas, Presidente, Nichols Forensic Science Consulting

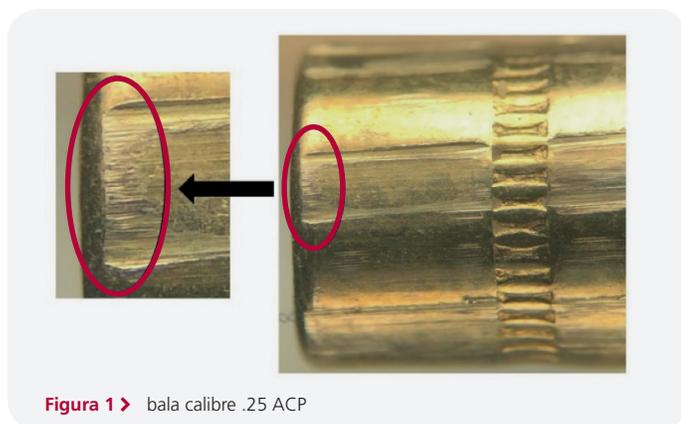
Resumen

La identificación forense de las armas de fuego y marcas de herramientas se ha aceptado ampliamente en los tribunales, desde su comienzo a principios del siglo XX. No obstante, recientemente se ha enfrentado a grandes desafíos debido a la inquietud en los tribunales sobre la confiabilidad y la falta de un fundamento estadístico de las conclusiones ofrecidas por los examinadores forenses de armas de fuego. La llegada del **Quantum 3D Microscope™** les ofrece a los examinadores una poderosa herramienta, con la que pueden respaldar sus conclusiones con datos suficientes y disipar las inquietudes que surjan en los tribunales. Asimismo, los ayudará a atender otros temas que siempre han existido en la disciplina, como por ejemplo la eficacia del trabajo y la falta de estandarización de muestras de capacitación, y el análisis de la capacidad y aptitud.

Introducción

La identificación del arma de fuego y las marcas de herramientas es una disciplina de la ciencia forense que tiene como objetivo principal la comparación de las marcas de herramientas, con el fin de determinar si comparten una en común. La mayoría de las veces, las marcas de herramientas que tienen en cuenta los examinadores son las marcas que quedan en las balas, los casquillos y los cartuchos de escopeta, hechas por las diversas partes de un arma de fuego cuando se realiza el disparo.

Cuando en el disparo la bala sale por el cañón, las marcas de herramientas sobre la superficie interior del cañón creadas durante el proceso de fabricación de dicho cañón rayan la superficie de la bala, y esto deja un patrón de estrías en su superficie. Estas características individuales, que sirven de base para las determinaciones de común, están resaltadas con óvalos en la **Figura 1** y constan de una serie de estrías microscópicas sobre la superficie de la bala.



Cuando se intenta determinar si dos balas fueron disparadas desde la misma arma de fuego, los examinadores compararán los patrones de las características individuales de las dos balas (consulte la **Figura 2**). La conclusión que el examinador ofrece se basa en el nivel de la correspondencia del patrón que se observa entre dichas características.



Los principios rectores aceptados actualmente por los examinadores de armas de fuego y marcas de herramienta al realizar determinaciones de común son de la Teoría de Identificación en Relación con las Marcas de Herramienta de la AFTE.¹ Esta declaración publicada por la Asociación de Examinadores de Armas de Fuego y Marcas de Herramienta (AFTE) proporciona una guía para cuando se puede realizar una determinación de común y hace dos declaraciones que son particularmente relevantes.

¹ Comité de AFTE para el Desarrollo de la Ciencia de Identificación de Armas de Fuego y Marcas de Herramienta, 2011. Theory of Identification as it Relates to Toolmarks: Revised. AFTE Journal 43(4):287.

- 1 ➤ Actualmente, la interpretación de la individualización/ identificación es subjetiva en su naturaleza, tiene su fundamento en principios científicos y se basa en el entrenamiento y experiencia del examinador.
- 2 ➤ La afirmación de que existe “suficiente coincidencia” entre dos marcas de herramienta significa que la coincidencia de las características individuales es de cantidad y calidad y que la probabilidad de que otra herramienta haya podido hacer la marca es tan remota que puede ser considerada una imposibilidad práctica.

Estas declaraciones han sido el foco de críticas de parte de diversos canales, incluidos los distintos comités de investigación en los Estados Unidos^{2,3} y, más recientemente, los fallos judiciales que han limitado el alcance del testimonio que puede proporcionar un examinador de armas de fuego y marcas de herramienta.^{4,5,6} Si bien los detalles de las críticas son distintos, los elementos principales consisten en dos inquietudes principales respecto de la confiabilidad de la conclusión de que dos marcas de herramienta comparten un origen común: la interpretación subjetiva de la correspondencia del patrón y la falta de base de estadística.

Mediante el uso de la última innovación tecnológica de Ultra Electronics Forensic Technology: el Microscopio Quantum 3D,

se pueden abordar estas inquietudes, y muchas más. Este microscopio de comparación virtual 3D es la base del éxito de **IBIS**[®] (Sistema de Identificación Balística Integrado de Ultra Electronics Forensic Technology). La tecnología de adquisición 3D desarrollada por IBIS se adaptó para que el Microscopio Quantum 3D sea posible.⁷

Además de proporcionar una plataforma para exámenes comparativos más estandarizados, las mediciones de la topografía 3D de los objetos les dan base a los algoritmos de correlación y a los modelos estadísticos para respaldar las conclusiones del experto, con tasas de error y niveles de confianza objetivos. El fallo *Daubert*⁸ designó al juez como “guardián” para la admisibilidad del testimonio del perito. Parte de los criterios de admisibilidad es el error o la posible tasa de error del método utilizado para llegar a las conclusiones. Al sentirse cada vez más insatisfechos con los examinadores que hablan de una probabilidad tan remota que podría ser considerada como una imposibilidad práctica, los tribunales han buscado una solución a este problema durante muchos años. El Microscopio Quantum 3D es el comienzo de esa solución: combinado con un paquete de software que permite una diferenciación sólida y cuantificable entre las balas disparadas de una misma arma de fuego y las balas disparadas de distintas armas de fuego.

Antecedentes/Problemas

La pregunta fundamental que intentan responder los examinadores de armas de fuego y marcas de herramienta, “¿Esta marca de herramienta fue creada por esta herramienta?”, no es tan simple como parece. El motivo se debe a que se trata de dos problemas distintos, de los cuales, cada uno puede resumirse en una pregunta. La primera es “¿Dos herramientas distintas ¿pueden producir dos marcas de herramienta distintas?” La segunda pregunta es “Si la respuesta a la primera pregunta es afirmativa, que distintas herramientas sí producen distintas marcas de herramienta, entonces ¿puede un examinador capacitado discernir entre estas diferencias para hacer determinaciones precisas del origen común?”

Idealmente, la respuesta a esta primera pregunta habría sido determinada sin implicar la subjetividad de un examinador y, así, la segunda pregunta podría haberse tratado por separado. Sin embargo, esto no fue posible. La primera pregunta no se podría contestar sin hacer que un examinador compare las marcas de

herramienta creadas por las distintas herramientas, evalúe las similitudes y las diferencias e interprete esas similitudes y diferencias para determinar si las distintas herramientas producen diferentes marcas de herramienta. Al comparar las marcas de herramienta hechas por la misma herramienta, sin observa tanto las similitudes como las diferencias. Al comparar las marcas de herramienta hechas por distintas herramientas, sin duda observa las diferencias y quizás algunas similitudes. Las informan como tales. Sin embargo ¿cuál fue el criterio que utilizan para declarar que las balas disparadas de distintas armas de fuego y las disparadas de cañones fabricados consecutivamente podrían ser diferenciadas? Ya sea que las marcas de herramienta se encuentran en balas, casquillos u otras herramientas, lo que generalmente se concluye es que “Son diferentes, por lo tanto, el método es válido”. Quizás el método sea válido, pero ¿es válido el criterio por el cual fueron declaradas diferentes? Con algunas excepciones, nunca se definió el criterio.

2 National Research Council, 2009. Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward. The National Academies Press, Washington, DC.

3 President’s Council of Advisors on Science and Technology, 2016. Forensic Science in Criminal Courts: Ensuring Scientific Validity of Feature-Comparison Methods.

4 United States v. Adams, 2020 U.S. Dist. LEXIS 45125.

5 United States v. Tibbs, 2019. D.C. Super. LEXIS 9.

6 United States v. Davis, 2019. U.S. Dist. LEXUS 155037.

7 Existe una importante distinción a realizar entre el Microscopio Quantum 3D e IBIS. El propósito de IBIS es encontrar nexos en una gran base de datos de candidatos. Su mayor utilidad es como herramienta de investigación para ofrecerles a los investigadores nexos entre incidentes de tiroteos que de otra forma no se hubieran desarrollado. El propósito del Microscopio Quantum 3D es comparar las marcas de herramienta específicas, entre sí, lo cual le permite al examinador proporcionar determinaciones definitivas del origen común respecto de dichas marcas de herramienta.

8 Daubert v. Merrell Dow Pharm., Inc., 1993. 509 U.S. 579.

Sin un criterio definido que guíe la evaluación, se puede juzgar criticar justificadamente la investigación descrita anteriormente como una investigación con una significativa debilidad. Lo principal es la subjetividad inherente en la interpretación final de los resultados en los estudios. Es el investigador individual el que concluye que esas diferencias en las marcas de herramienta creadas por distintas herramientas fueron lo suficientemente distintas. Es el mismo investigador individual el que concluye que esas similitudes en las marcas de herramienta creadas por la misma herramienta fueron lo suficientemente similares. Cada una de estas conclusiones se basó en el entrenamiento y la experiencia del investigador individual, quien, tal como se mencionó antes, es subjetivo por naturaleza.

Asimismo, debido al diseño de los estudios, se podría argumentar fácilmente que los estudios estuvieron sujetos al sesgo. En muchos casos, al hacer comparaciones de marcas de herramientas, el investigador sabe que las marcas de herramienta en realidad fueron hechas por distintas herramientas. Por lo tanto, hubiera sido normal observar las diferencias, independientemente de lo leves que podrían ser. Esto presenta un desafío, ya que, al realizar comparaciones en un caso, los examinadores generalmente observan los patrones de similitud. No observan normalmente las diferencias, porque se espera que haya diferencias. Así, cuando hay diferencias, salvo que sean leves, un examinador ¿descarta en un caso esas diferencias como “diferencias esperadas” cuando en realidad podrían haber sido la clave para determinar que las marcas de herramienta fueron hechas por distintas herramientas?

Antes de la década de 1990, las dos preguntas mencionadas al comienzo de esta sección estaban unidas en una sola pregunta, en función de la necesidad, ya que simplemente no había otra forma de llevar a cabo la investigación necesaria.⁹ Sin embargo, con el desarrollo de la tecnología mecánica y de algoritmos con los cuales procesar las topografías medidas, la disciplina recibe datos claros, objetivos, cuantificables que indican que las distintas herramientas producen diferentes marcas. Se han publicado más de 30 estudios con base mecánica relacionados con balas, casquillos y otros objetos con marcas de herramientas, y todos muestran la separación entre los datos de comparaciones del mismo origen y los datos de comparaciones de orígenes diferentes. Al considerar los datos acumulados, existen casi un millón de puntos de datos, si no son más, que claramente respaldan la premisa principal de la identificación del arma de fuego y la marca de herramienta: que distintas herramientas producen diferentes marcas de herramienta.¹⁰

El problema, claro, es que la tecnología mecánica no se usa para realizar comparaciones visuales de las marcas de herramienta. Además, las tasas de error relevantes para la tecnología mecánica y los algoritmos no se pueden aplicar en los examinadores que utilizan microscopía de comparación. Por lo tanto, queda el

problema de si los examinadores, al utilizar procesos y procedimientos aceptados, pueden hacer determinaciones del origen común con precisión. Afortunadamente, esto ha sido evaluado en más de 20 estudios diferentes que han examinado la capacidad de un examinador para hacer determinaciones del origen común con precisión.¹¹ Existen limitaciones en algunos de estos estudios, pero en general han demostrado que los examinadores capacitados podrían hacer determinaciones del origen común con precisión y con una baja tasa de error. Pero, al igual que los estudios con base en la mecánica, estos estudios no contemplan una tasa de error para toda la disciplina. Si bien esta baja tasa de error debería disipar algunas de las inquietudes que los tribunales tienen respecto de la confiabilidad, estos no parecen estar lo suficientemente disuadidos. Asimismo, todavía queda la inquietud respecto de la certeza con la que se pueden hacer las determinaciones del origen común. Estos estudios no ofrecen esa certeza.

Existen otras inquietudes complementarias con las que se pueda enfrentar la disciplina. Una es el proceso del tipo “caja negra” que utilizan los examinadores. Esto se refiere al hecho de que, entre el examen inicial de las muestras y la interpretación final respecto del origen común, se toman muchas decisiones que no necesariamente se reflejan en el informe del caso o aun en las notas. La Teoría de Identificación en Relación con las Marcas de Herramienta de la AFTE establece que la interpretación de las comparaciones es subjetiva en su naturaleza. Sin embargo, esto puede inducir a errores, ya que se trata de una interacción de objetividad y subjetividad durante todo el proceso de comparación. Hay decisiones relacionadas con la iluminación que pueden afectar la forma en que se visualizan las marcas de herramienta. Se toman decisiones constantes respecto de la correspondencia que se observa o no, esto hace que el examinador cambie las imágenes. Cada vez que un examinador cambia una o más de las imágenes, se hace una evaluación subjetiva de los datos objetivos que se observan en ese momento. Por lo tanto, si bien los examinadores manejan los datos objetivos, la subjetividad es inherente en la evaluación en curso de esos datos durante el proceso de comparación.

Otra inquietud es el estado actual de la capacitación de los nuevos examinadores de armas de fuego y marcas de herramienta. AFTE ha publicado un Manual de Capacitación que muchos laboratorios usan como base de sus programas de capacitación para los nuevos examinadores. En general, el manual proporciona una excelente dirección y uniformidad respecto de lo que se debería hacer y brinda las referencias que deberían consultarse. Sin embargo, lo que no está estandarizado son las muestras de las marcas de herramienta, incluidas las marcas en balas y casquillos, que se proporcionan para que cada uno desarrolle sus habilidades de análisis comparativo. Y es en estas muestras en las que se desarrolla y genera el criterio de identificación de un examinador.

9 Antes de los estudios mecánicos, se estudiaban las estrías coincidentes consecutivas (CMS, por sus siglas en inglés) para intentar brindarles a los examinadores un criterio más objetivo para concluir que dos marcas de herramienta estriadas compartían un origen común. Durante estos estudios, hubo una diferencia demostrable y cuantificable entre las marcas de herramienta estriadas producidas por la misma herramienta y las marcas de herramienta estriadas producidas por distintas herramientas. El motivo fue que las marcas de herramienta creadas por la misma herramienta demostraron una correlación con las estrías, mientras que las marcas de herramienta creadas por distintas herramientas no mostraron esa misma correlación. Si bien es valiosa, esta investigación incluía todavía un elemento humano y podría estar sujeta a críticas similares a los demás estudios iniciales.

10 Nichols, R. *Firearm and Toolmark Identification: The Scientific Reliability of the Forensic Science Discipline*, 2018. London: Academic Press. Consulte el capítulo 4, “State of the art” para ver un resumen de muchos de estos estudios.

11 Nichols, R. *Firearm and Toolmark Identification: The Scientific Reliability of the Forensic Science Discipline*, 2018. London: Academic Press. Consulte el capítulo 7, “Validating the criteria for identification” (Validación del criterio de identificación) para ver un resumen de muchos de estos estudios.

Una inquietud más notoria es la falta de estandarización de las muestras de marcas de herramienta utilizadas en el análisis de competencia y aptitudes. Se ha hecho todo lo posible para minimizar las diferencias entre las muestras de prueba, pero puede haber una variación entre las muestras que afecte la eficacia de las pruebas.

La solución: el Microscopio Quantum 3D

El Microscopio Quantum 3D ofrece soluciones a muchos de los problemas a los que se enfrentan los examinadores en los tribunales, así también como las inquietudes principales y secundarias que se han mencionado. Se tratarán los siguientes temas:

- Tendencia hacia un enfoque más objetivo de los casos
- Valorización de la capacidad de los examinadores para procesar evidencia y casos
- Refuerzo de la premisa principal de identificación de armas de fuego y marcas de herramienta mediante la validación en la comunidad
- Capacitación remota estandarizada y análisis de la competencia y aptitudes
- Problemas de integración y gestión de datos de LIMS (Sistema de Gestión de Información de Laboratorio)

Tendencia hacia un enfoque más objetivo de los casos

Microscopía de comparación virtual

Existen dos formas mediante las cuales el uso del Microscopio Quantum 3D facilita tener un enfoque más objetivo en los exámenes de armas de fuego y marcas de herramienta. La captura 3D de la topografía de alta calidad permite realizar mediciones y, en consecuencia, permite el uso de métodos informáticos para la determinación del origen común y un análisis estadístico a gran escala. La tecnología IBIS® ampliamente reconocida proporcionó la base sobre la cual se desarrolló el Microscopio Quantum 3D. La adquisición 3D de datos es reproducible y rastreada a estándares de medición internacionales, lo que permite comparaciones precisas.

La microscopía de comparación virtual (VCM, por sus siglas en inglés) tiene muchas ventajas respecto de la microscopía de comparación convencional. Lo principal es la disponibilidad de los datos a comprar. Con la adquisición 3D, la topografía de ambas muestras se **mide** y reproduce directamente. En la microscopía de comparación convencional, la topografía se **observa** usando la iluminación para proyectar los reales y las sombras de las muestras.

IBIS o Quantum



IBIS ha sido utilizado en la creación y búsqueda de redes de balística regionales y naciones durante dos décadas. Esto ha resultado en cientos de miles de vínculos entre incidentes relacionados con armas de fuego. La tecnología ha sido instrumental en el éxito de estas redes de la mano con los procesos y las personas detrás de la tecnología.

Si bien utiliza cierta tecnología IBIS adaptada, el Microscopio Quantum 3D tiene un propósito muy diferente. En IBIS, los protocolos de adquisición estandarizados son esenciales para hacer búsquedas efectivas en las redes de balística. Con el uso del Microscopio Quantum 3D los examinadores tienen mucha más flexibilidad en lo que adquieren para la comparación específica que se les presenta.

Por lo tanto, lo que se observa depende en gran medida de la iluminación y es crítico que esta sea lo más similar posible para ambas muestras. Además, puede ser difícil replicar la iluminación entre las muestras. Con VCM, las comparaciones son reproducibles y pueden repetirse gracias a su medición de la topografía directa que no se puede lograr con la microscopía de comparación convencional.

Una segunda ventaja distintiva de VCM es la colaboración remota: los examinadores en distintos laboratorios pueden trabajar en conjunto. Por ejemplo, en un sistema de laboratorio en el que solo hay un examinador en una ubicación, se debe transferir físicamente la evidencia a otro centro para realizar la verificación y la revisión técnica. Con VCM, esa transferencia de evidencia no es necesaria. Se puede acceder remotamente a las imágenes y los procesos de verificación pueden manejarse con facilidad.

VCM también permite realizar anotaciones fácilmente durante las comparaciones. Con las anotaciones, los examinadores pueden fácilmente resaltar las áreas en las que basaron las conclusiones a las que llegaron. Esto ayuda a reducir las inquietudes relacionadas con el proceso de tipo "caja negra", respecto del desconocimiento por parte de la mayoría sobre el razonamiento detrás de las decisiones tomadas. Cuando se revisan las comparaciones o, en algunos casos, se las cuestiona, ahora es posible "ver" el proceso de razonamiento del examinador que realizó la comparación documentada.

Método RBL que genera una tasa de coincidencia falsa

En el método RBL del Microscopio Quantum 3D, se utilizan dos mediciones de la similitud. El primero es el Puntaje de Coincidencia del Patrón, que cuantifica la similitud general utilizando una combinación de una función de correlación cruzada (CCF) y una diferencia normalizada absoluta. La CCF ha demostrado ser eficaz en la medición de la similitud de perfiles de balas. La segunda medición de similitud es el Puntaje de Conteo de Línea que analiza consecutivamente los picos correspondientes, al igual que los valles correspondientes de manera consecutiva. La lógica subyacente es que podría haber dos picos correspondientes entre dos marcas de herramienta, pero los valles entre dichos picos podrían estar desalineados. Por lo tanto, los valles correspondientes proporcionan información adicional y complementaria. Al combinarse, el poder de discriminación del Puntaje de Coincidencia de Patrón y el Puntaje de Recuento de Líneas es mayor que el poder de discriminación de cada uno de ellos individualmente. Este método ya ha sido descrito.¹²

Consideremos, por ejemplo, cinco balas disparadas desde la misma arma de fuego. Se recogieron y analizaron mediante el uso del método RBL. Para este conjunto de cinco balas, hay 10 combinaciones de pares de coincidencia conocidos posibles.

La **Figura 3** muestra un Gráfico de RBL que se podría generar después de realizar y analizar estas 10 comparaciones.

Si extendemos este ejemplo, digamos que hay una bala intacta, relativamente sin daños de una escena de un crimen que debe ser comparada con la prueba de cinco balas disparadas desde el arma de fuego con los resultados del método RBL presentado en la Figura 3. Existen dos posibilidades potenciales: la bala fue disparada desde esa arma de fuego o la bala no fue disparada desde esa arma de fuego. Si fue disparada desde esa arma de fuego, entonces debería haber cinco puntos de datos adicionales, a partir de la comparación de esa bala con cada una de las cinco balas de prueba disparadas, representados con puntos azules, cerca de los demás puntos de datos en el cuadrante de derecho superior (consulte la **Figura 4a**). Si no fue disparada por esa arma de fuego, entonces los cinco puntos de datos adicionales deberían estar distanciados del grupo de puntos de datos coincidentes conocidos, en la parte izquierda inferior del gráfico de RBL que representa los puntajes bajos de similitud (consulte la **Figura 4b**).

Se deberían notar dos cosas respecto de estos ejemplos hipotéticos. Lo primero es que los puntos de datos coincidentes conocidos pueden cambiar hacia la parte izquierda inferior o el área de no coincidencia cuando las balas no están bien marcadas. Esto no significa una falla de la premisa principal de la identificación del arma de fuego y las marcas de herramienta, ni tampoco es una falla de la tecnología. Algunas balas simplemente no están bien marcadas y los resultados del método RBL son coherentes con la similitud observable. También, se debe tener en cuenta que el Microscopio Quantum 3D fue diseñado para **darle respaldo** al examinador, **no para reemplazar** al examinador.

Correlación de IBIS o Método RBL



La correlación utilizada en la tecnología IBIS está diseñada para realizar una búsqueda de una muestra adquirida en una gran base de datos de muestras similares. El propósito es identificar otras muestras que puedan tener un origen común y llamar la atención del técnico en la forma de una lista. A fin de lograr esto de manera rápida y confiable, los algoritmos deben tener parámetros de búsqueda amplios.

En contraste, el método RBL del Microscopio 3D compara dos muestras directamente con más detalle, sin limitaciones en el tiempo de cálculo, para proporcionar resultados objetivos y de importancia estadística, que respalden la conclusión del examinador, ya sea que esas muestras comparten un origen común, tienen un origen común o si los resultados no son concluyentes.

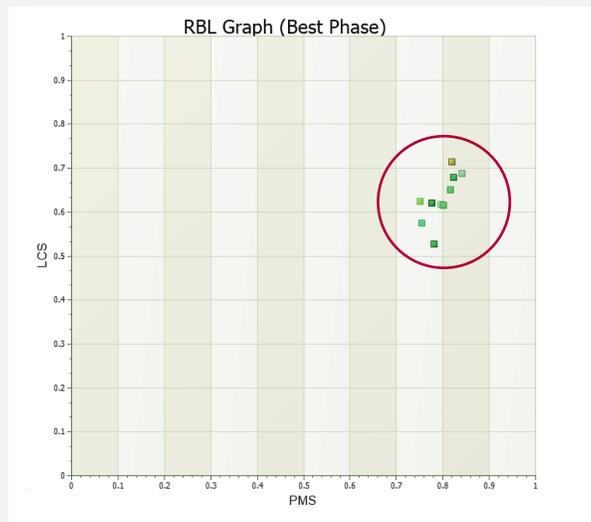


Figura 3 > Gráfico de RBL con 10 pares coincidentes conocidos¹³

En la Figura 3, los 10 puntos de datos dentro del círculo rojo son los puntajes para las coincidencias conocidas. Como se puede observar, se agrupan en la parte derecha superior que indica la coherencia en la similitud de esos disparos de prueba desde la misma arma de fuego que marcaron bien.

12 Roberge, D., Beauchamp, A., Levesque, S., 2019. Objective Identification of Bullets Based on 3D Pattern Matching and Line Counting Scores. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence 33(11) DOI: 10.1142/S0218001419400214.

13 Los resultados que se muestran en los gráficos de RBL en este documento se basan en los datos de la investigación preliminar y pueden diferir del producto final.

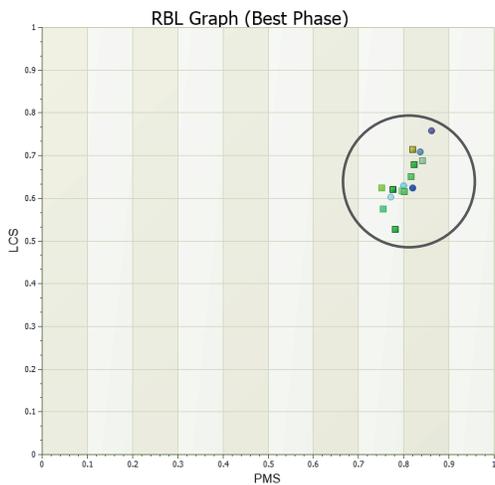


Figura 4a > Gráfico de RBL de los disparos de prueba coincidentes de la evidencia (puntos azules)

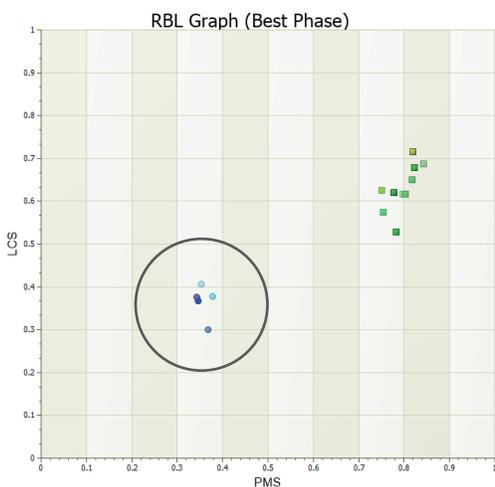


Figura 4b > Gráfico de RBL de los disparos de prueba no coincidentes de la evidencia (puntos azules)

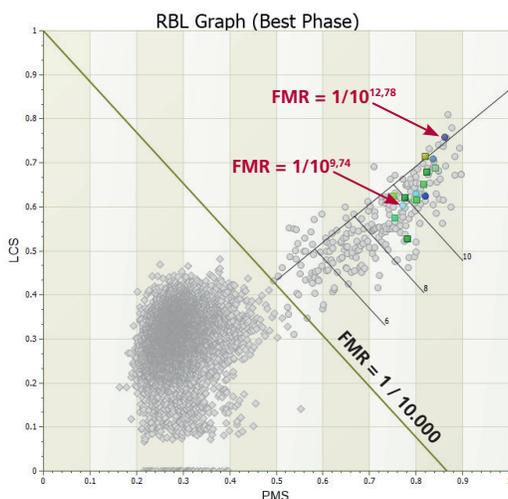


Figura 5 > Gráfico de RBL con la Tasa de Coincidencia Falsa (FMR)

Lo segundo se relaciona con lo primero. Aun en circunstancias ideales, las balas no necesariamente quedan bien marcadas en todas las áreas de valles marcados. Si todas las áreas de valles marcados se incluyeran en el puntaje final, los puntajes podrían quedar artificialmente modificados hacia un rango de puntaje no coincidente; de hecho, hay suficiente correspondencia en dos áreas de valles marcados como para proporcionar una determinación del origen común. Esta situación se hace más difícil cuando se debe trabajar con balas dañadas, algo que ocurre con frecuencia. Por estos motivos, se ha hallado que se optimiza el método RBL cuando se utilizan dos áreas de valles marcados con el mejor puntaje.

Así, tal como se puede observar fácilmente con el método RBL y los gráficos resultantes, las opiniones de los examinadores se pueden respaldar con datos objetivos. Esto es muy útil para una de las dos inquietudes principales que han tenido los tribunales respecto de la identificación de las armas de fuego y las marcas de herramienta: la confiabilidad del examinador. Sin embargo, los gráficos solos no responden la inquietud sobre la falta de una base estadística para la conclusión de que dos marcas de herramienta comparten un origen común. La respuesta se encuentra dentro de los datos que se muestran en los gráficos.

Al presentar una base estadística, hay dos enfoques generales: un índice de probabilidad (LR, por sus siglas en inglés) y una tasa de coincidencia falsa (FMR, por sus siglas en inglés). El LR se usa con frecuencia, pero puede ser todo un desafío porque si bien puede haber una gran cantidad de datos conocidos sin coincidencia disponibles, la cantidad de datos conocidos con coincidencia tiende a ser mucho más chica. Por ejemplo, 100 pares coincidentes conocidos de balas generan casi 20.000 comparaciones no coincidentes, pero solamente 100 comparaciones coincidentes. Sin embargo, una FMR no considera las comparaciones coincidentes conocidas y se calcula en función de solamente los datos conocidos no coincidentes (de los cuales hay muchos). Siempre que haya una cantidad suficiente de datos no coincidentes, es posible desarrollar una FMR para esos datos. El Microscopio Quantum 3D actualmente proporciona una FMR, pero podría incluir un LR en el futuro. Los ejemplos de las FMR se muestran en la **Figura 5**.

Los pares coincidentes visuales conocidos y las no coincidencias conocidas generalmente están separadas por una línea que se corresponde con un valor de FMR de 1/10.000. Si bien parece que la FMR podría ser considerada un criterio de decisión, que distingue un origen común de un origen diferente, esta no es la interpretación adecuada porque es posible que las balas disparadas desde la misma arma de fuego caigan debajo de esa línea. La FMR para un puntaje de similitud determinado representa la probabilidad de que dos balas que no fueron disparadas desde la misma arma de fuego generen un puntaje de similitud más alto.

Valorización de la capacidad de los examinadores para procesar evidencia y casos

El Microscopio Quantum 3D valoriza la capacidad de los examinadores para procesar la evidencia y los casos de muchas maneras. La primera manera es la posible segregación de tareas.

La facilidad de adquisición de datos significa que los técnicos capacitados pueden ser los responsables de la adquisición, de tal forma que los examinadores puedan concentrarse en los aspectos comparativos del trabajo (el cual requiere mayores niveles de capacitación y pericia). Aun las balas dañadas y los fragmentos se pueden preparar y adquirir con relativa facilidad. Por lo tanto, los examinadores ya no deben utilizar gran parte de su tiempo preparando las muestras y posicionando la iluminación para optimizar las marcas a observar. En cambio, cuando las imágenes están listas para ser comparadas, se sientan cómodamente frente a una computadora para evaluar las imágenes en la pantalla, en lugar de mirar a través de un ocular, lo cual puede ser agotador, aun con los mejores microscopios de comparación con diseño ergonómico.

La segunda manera es que el Microscopio Quantum 3D facilita un mejor examen comparativo, ya que la topografía real de las marcas se mide y se recoge durante la adquisición. Esto es una diferencia respecto de la microscopía de comparación convencional, en la que la topografía se percibe mediante el uso y ajuste de la iluminación para proyectar reales y sombras. Por lo tanto, es mayor la oportunidad de visualizar y observar las marcas, lo cual, de otra forma, hubiera sido todo un desafío con el uso de la microscopía de comparación convencional.

Finalmente, en los casos en los que sería necesario transferir físicamente la evidencia a otro centro para la verificación y revisión técnica, se podría usar Quantum para “enviar” electrónicamente los datos medidos, en lugar de la evidencia. Tal como se mencionó anteriormente, los examinadores en los laboratorios satélite podrían hacer que su trabajo sea verificado por otros colegas en su sistema de laboratorio sin tener que enviar la evidencia. En el caso de que un investigador solicite que la comparación de las balas sea realizada con balas recuperadas de otra jurisdicción, es posible que, en lugar de enviar la evidencia, simplemente se compartan electrónicamente las imágenes. En ambas circunstancias, se genera un gran ahorro de tiempo que les permite a los examinadores proporcionar resultados con mayor rapidez a sus colegas y clientes.

Refuerzo de la premisa principal de identificación de armas de fuego y marcas de herramienta mediante la validación en la comunidad

Existe una gran cantidad de datos mecánicos que respaldan la premisa básica que indica que distintas herramientas producen distintas marcas. Al utilizar el Microscopio Quantum 3D, esa premisa se refuerza constantemente y no solo por un único investigador. Se puede utilizar la microscopía 3D para capturar y compartir globalmente los datos. El método RBL demuestra visualmente las diferencias cuantificables entre las condiciones coincidentes y las no coincidentes. Este intercambio de datos permite la validación constante, en

toda la comunidad, de la premisa básica de identificación del arma de fuego y las marcas de herramienta mediante el uso de procesos y procedimientos estandarizados, tal como hace el crowdsourcing para el software.

Como se mencionó anteriormente, 100 pares coincidentes conocidos de balas pueden resultar en casi 20.000 comparaciones no coincidentes conocidas en las que se basa la FMR. Si los examinadores utilizan métodos y protocolos estándar para la adquisición de datos, es fácil considerar que 50 laboratorios, que proporcionan 20 pares de balas cada uno, podrían resultar en un conjunto de datos de 1000 pares coincidentes conocidos, en lugar de resultar en casi 2.000.000 de puntos de datos.

Asimismo, dado que el Microscopio Quantum 3D no está vinculado a una base de datos de balística, no hay nada que impida que los examinadores exploren su uso para otras marcas de herramienta. Se puede utilizar para adquirir marcas de herramienta en las superficies de otros objetos pequeño, como las que se encuentran en los lados de los píldoras de los laboratorios que investigan la fabricación ilegal de píldoras. También se puede utilizar para adquirir marcas de recámara de un arma de fuego sobre los lados de los casquillos de cartuchos, aunque la adquisición quizás debería ser más personalizada. Por ejemplo, es posible que se deban adquirir varias bandas, completas o parciales, del casquillo de un cartucho para capturar las marcas de recámara relevantes.

Capacitación remota estandarizada y análisis de la competencia y la pericia

Una de las inquietudes secundarias mencionadas fue la falta de estandarización de las muestras de marcas de herramienta, incluidas las de balas y casquillos, que se proporcionan para que cada uno desarrolle sus habilidades de análisis comparativo y analice su aplicación de esas mismas habilidades. En general, al preparar las muestras de marcas de herramientas, se ha limitado a los capacitadores a lo que tenían disponible en sus propios laboratorios. Esto ha resultado en una falta de uniformidad en toda la disciplina con respecto a las muestras diseñadas para construir la capacidad más importante del examinador.

Para los capacitadores, sería especialmente útil tener una base de muestras centralizada y uniforme para la capacitación, desde la cual se pueda obtener un equipo de capacitación. Serían capaces de darles a los estudiantes ejemplos de determinadas condiciones, tales como las características de subclase, de las cuales no tienen ejemplos por ser casos muy poco frecuentes. Podrían tener acceso a las marcas de herramienta para las cuales no tienen muestras. También, este entrenamiento estandarizado ayudaría a tener una mayor uniformidad en el criterio de identificación que desarrollen los examinadores, como resultado de su capacitación.

Así como el análisis de la pericia actual es eficaz para la disciplina, dado que las muestras no son uniformes, si un exami-

nador llega a una conclusión de que se encuentra fuera de las especificaciones de la prueba, se sabe si el resultado se debe a un problema del examinador o a un problema con las muestras que ha proporcionado el examinador. Una base de capacitación desde la cual se pudieran extraer muestras uniformes para las pruebas de competencia y aptitud sería de gran ayuda para disipar esta inquietud. Esto ayudaría a que los directores de laboratorios y gerentes de control de calidad puedan comprender mejor la manera en que sus estudiantes y examinadores se desempeñan, en relación con otros individuos de la disciplina.

Problemas de integración y gestión de datos de LIMS

El hecho de que el Microscopio Quantum 3D **no** está integrado a ningún otro sistema permite una fácil gestión basada en los archivos. Esto significa que los archivos del entorno laboral (adquisiciones, capturas de pantallas del visor de comparaciones, resultados de RBL, notas, etc.) serán administrados por los usuarios, a nivel del archivo. Los examinadores y los laboratorios podrán manejar estos datos de la forma en que deseen. Esto incluye la importación en LIMS existentes, compartir los datos con otras personas y proteger y encriptar los datos en conformidad con las pautas de calidad establecidas en sus laboratorios individuales.

Resumen

Se han destacado varias inquietudes y varios problemas respecto de la práctica actual de los examinadores de armas de fuego y marcas de herramienta. Dos de estas, la confiabilidad del examinador y la falta de un fundamento estadístico sólido para que los examinadores realicen una determinación del origen común, son las inquietudes principales que tienen los tribunales respecto del testimonio de los examinadores de armas de fuego y marcas de herramienta. Existen otras inquietudes secundarias que ha enfrentado la disciplina, que incluyen las relacionadas con la estandarización de la capacitación y el análisis de la competencia, el proceso del tipo “caja negra” de los examinadores, la verificación de la pericia constante de los examinadores y la investigación constante. El Microscopio Quantum 3D ofrece el paquete más completo hasta la fecha: una solución que brinda la capacidad no solo de adquirir, comparar y analizar datos de marcas de herramientas de muestras pequeñas, tales como las balas, sino también que ofrece una tasa de coincidencia falsa de probabilidades para las balas.

Aun con el gran salto tecnológico ofrecido con el Microscopio Quantum 3D, todavía queda más para lograr. Tal como se analizó anteriormente, algo de esto puede lograrse en la comunidad en su totalidad, al proporcionar y compartir datos que ayudarán a fortalecer la objetividad de la disciplina. Además, se hará posible la capacitación remota estandarizada.

Esto no solo generará una capacitación reproducible y que pueda repetirse, sino que también permitirá la optimización de las oportunidades de capacitación para los nuevos examinadores y, al mismo tiempo, reducirá los costos constantes de capacitación.

Avances futuros

La innovación tecnológica que ofrece el Microscopio Quantum 3D también puede aplicarse de manera similar en las marcas de herramienta impresas en superficies tales como puntas de casquillos y otros objetos de superficie plana. Tales superficies incluyen fragmentos de cañón de dispositivos explosivos improvisados, junto con conectores de cable y laminados con plástico utilizados en los componentes eléctricos de dichos dispositivos. También incluyen moldes que muestran marcas de cinceles, destornilladores y barretas en las escenas de diversos crímenes.

Dado el éxito de IBIS® BRASSTRAX™ y ahora el Microscopio Quantum 3D, se desarrolla una solución de microscopía 3D para casquillos para incluir las marcas frontales de la recámara, las impresiones del percutor y las marcas del extractor. Esta misma solución se adaptará para ser utilizada con otras marcas de herramienta, al igual que el primer modelo de Microscopio Quantum 3D, especializado para balas, que se puede adaptar para ser usado con marcas de herramienta estriadas en otros objetos pequeños.

Se seguirá refinando el método RBL para optimizar su utilidad a la hora de brindar la mejor y más objetiva base estadística, a fin de respaldar las conclusiones de los examinadores de armas de fuego y marcas de herramienta.

Obras citadas

Comité de AFTE para el Desarrollo de la Ciencia de Identificación de Armas de Fuego y Marcas de Herramienta, 2011. Theory of Identification as it Relates to Toolmarks: Revised. AFTE Journal 43(4):287.

National Research Council, 2009. Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward. The National Academies Press, Washington, DC.

Nichols, R. Firearm and Toolmark Identification: The Scientific Reliability of the Forensic Science Discipline, 2018. London: Academic Press.

President's Council of Advisors on Science and Technology, 2016. Forensic Science in Criminal Courts: Ensuring Scientific Validity of Feature-Comparison Methods.

Roberge, D., Beauchamp, A., Levesque, S., 2019. Objective Identification of Bullets Based on 3D Pattern Matching and Line Counting Scores. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence 33(11) DOI: 10.1142/S0218001419400214.

United States v. Adams, 2020 U.S. Dist. LEXIS 45125.

United States v. Tibbs, 2019. D.C. Super. LEXIS 9.

United States v. Davis, 2019. U.S. Dist. LEXUS 155037.