



Article de recherche

COMPARAISON DU PROGRAMME TEEEXMR AVEC LES PROGRAMMES DE MICROSCOPES PROFESSIONNELS DE COMPARAISON BALISTIQUE

Traduction en français à l'aide de l'IA (DeepL)

Enrique Germán Solana Aguilar
Expert du Centre fédéral d'expertise médico-légale du
Procureur général de la République - Mexique
Doctorat en sciences médico-légales
enrique.solana@outlook.es
ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-8777-4495>

Google Scholar :

<https://scholar.google.com/citations?user=WBPl3xEAAAAJ&hl=es>

Reçu le 23/10/2025

Accepté le 28/11/2025

Publié le 30/01/2026

doi : <https://doi.org/10.64217/logosguardiacivil.v4i1.8558>

Citation recommandée : Solana, E. G. (2026). Comparaison du programme TEEEXMR avec des programmes de microscopes professionnels de comparaison balistique. *Revista Logos Guardia Civil*, 4(1), 277–300. <https://doi.org/10.64217/logosguardiacivil.v4i1.8558>

Licence : Cet article est publié sous licence Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

Dépôt légal : M-3619-2023

NIPO en ligne : 126-23-019-8

ISSN en ligne : 2952-394X

278 | RLGC Vol.4 No.1 (2026), pp. 277-300

<https://doi.org/10.64217/logosguardiacivil.v4i1.8558>

ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-8777-4495>

Google Scholar :<https://scholar.google.com/citations?user=WBPl3xEAAAAJ&hl=es>

COMPARAISON DU PROGRAMME TEEX^{MR} AVEC LES PROGRAMMES DE MICROSCOPES PROFESSIONNELS DE COMPARAISON BALISTIQUE

Sommaire : 1. INTRODUCTION. 2. FONDEMENT ET ARGUMENTATION. 3. LE PROCESSUS D'ÉTUDE EN SCIENCES MÉDICO-LÉGALES. 4. TECHNIQUES DE COMPARAISON. 5. THÉORIES POUR LA COMPARAISON D'ÉLÉMENTS BALISTIQUES. 6. LA COMPARAISON D'ÉLÉMENTS BALISTIQUES À L'AIDE DE DIFFÉRENTS ÉQUIPEMENTS ET PROGRAMMES. 7. MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE. 8. COMPARAISON DE LA COMPARAISON D'ÉLÉMENTS BALISTIQUES À L'AIDE DE DIVERS PROGRAMMES. 9. DISCUSSION. 10. CONCLUSION. 11. REMERCIEMENTS. 12. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

Résumé : Actuellement, on recherche des solutions plus simples et plus accessibles à des problèmes de tous les temps. L'innovation a permis à la technologie de s'imposer dans divers domaines et aux outils technologiques d'être utilisés dans divers champs de la connaissance humaine. L'innovation technologique a eu une influence significative sur les sciences médico-légales, en introduisant des outils qui améliorent l'efficacité et l'accessibilité dans la comparaison des preuves. Traditionnellement, la comparaison balistique dépend de microscopes professionnels coûteux intégrés à des programmes spécialisés, ce qui limite leur disponibilité aux laboratoires disposant de ressources limitées. Cette étude évalue la fonctionnalité et la praticité de Teex^{MR}, un programme numérique économique conçu à l'origine à des fins éducatives, en le comparant à des systèmes professionnels de comparaison balistique tels que Leica^{MR}, Leeds^{MR} et VisionX^{MR}. À l'aide de tests systématiques sur des douilles de calibres courants (9×19 mm et .38 Special), la recherche analyse des fonctions essentielles telles que l'alignement des images, la superposition, le réglage du contraste et l'affichage en temps réel. Les résultats indiquent que Teex^{MR} reproduit avec succès les fonctions de comparaison de base, offrant une alternative viable pour les professionnels de la criminalistique et les étudiants qui n'ont pas accès à des équipements coûteux. Bien qu'il ne remplace pas les systèmes optiques avancés, Teex^{MR} démontre son potentiel en tant qu'outil complémentaire pour la formation et l'analyse préliminaire en criminalistique, favorisant une plus grande accessibilité dans la pratique expertise.

Resumen: Actualmente se buscan soluciones más sencillas y accesibles a problemas de todo tiempo, la innovación ha permitido que la tecnología permee en diversas áreas, y que utilidades tecnológicas sean capaces de ser usadas en diversos campos del conocimiento humano. Y la innovación tecnológica ha influido significativamente en las ciencias forenses, introduciendo herramientas que mejoran la eficiencia y accesibilidad en la comparación de evidencias. Tradicionalmente, la comparación balística depende de microscopios profesionales de alto costo integrados con programas especializados, lo que limita su disponibilidad a laboratorios con recursos limitados. Este estudio evalúa la funcionalidad y practicidad de Teex^{MR}, un programa digital económico diseñado originalmente con fines educativos, contrastándolo con sistemas profesionales de comparación balística de equipos como Leica^{MR}, Leeds^{MR} y VisionX^{MR}. Mediante pruebas sistemáticas con casquillos de calibres comunes (9×19 mm y .38 Special), la investigación analiza funciones esenciales como alineación de imágenes, superposición, ajuste de contraste y visualización en tiempo real. Los resultados indican que Teex^{MR} replica con éxito las funciones básicas de comparación, ofreciendo una alternativa viable para profesionales forenses y estudiantes que carecen de acceso a equipos costosos. Aunque no sustituye a los sistemas ópticos avanzados, Teex^{MR} demuestra potencial como herramienta complementaria para la formación y el análisis forense preliminar, promoviendo una mayor accesibilidad en la práctica pericial.

Mots clés : Criminalistique, Comparaison, Marques d'outils, Microscopie

Palabras clave: Forense, Cotejo, Marcas de herramienta, Microscopia

ABRÉVIATIONS

AFTE : Association of Firearm and Tool Mark Examiners (Association des examinateurs d'armes à feu et de marques d'outils, selon sa traduction en espagnol)

CPEUM : Constitution politique des États-Unis mexicains

CMS : Consecutive Matching Striae (Lignes consécutives concordantes, selon la traduction espagnole, correspond à une théorie d'identification des marques d'outils)

F.G.R. : Fiscalía General de la República (institution chargée de rendre la justice au niveau fédéral dans la République mexicaine)

AI : Intelligence artificielle

INEGI : Institut national de statistique et de géographie

LED : Light-emitting diode (diode électroluminescente, selon sa traduction en français)

1. INTRODUCTION

La technologie est l'un des principaux moteurs de l'innovation dans les processus et, avec elle, de nouveaux paradigmes apparaissent, qui doivent être corrigés ou perfectionnés. Les progrès réalisés au cours de ce siècle ont été rapides, ce qui fait de l'obsolescence une question à prendre en compte, non seulement dans le développement industriel, mais aussi dans le domaine intellectuel.

Les sciences médico-légales n'ont pas échappé à la révolution technologique, qui a déclenché des innovations et des développements visant à rationaliser le travail et à réaliser des choses qui étaient auparavant impossibles. Les processus ont été améliorés, ce qui a entraîné de nouvelles façons de penser l'expertise.

Actuellement, les comparaisons de marques d'outils sont effectuées à l'aide d'équipements microscopiques, qui sont pour la plupart numériques et couplés à des programmes dotés de diverses fonctions qui aident à démontrer ce qui est comparé. Les équipements utilisés dans les laboratoires médico-légaux sont pour la plupart fixes et coûteux, et les programmes qui y sont couplés sont propres à l'équipement et ne permettent pas de fonctionner sur d'autres équipements. Les équipements utilisés pour la comparaison sont utiles, car le principal besoin est de pouvoir observer les éléments à comparer en temps réel, que le confort ou l'ergonomie permette une utilisation aisée, et que les caractéristiques permettent d'utiliser, sur le même équipement, des gammes de contraste qui facilitent la visualisation des éléments nécessaires à l'identification ou à l'élimination (marques).

Les connaissances, associées à des équipements qui étaient auparavant très volumineux et peu accessibles, se sont désormais orientées vers des options plus économiques et presque aussi fiables que celles à coût élevé.

Les informations sur les équipements et les stratégies technologiques dans le domaine médico-légal sont cruciales pour optimiser le travail des experts. C'est pourquoi l'utilisation du programme appelé « témoin expert » (Teex^{MR}) facilite la formation en matière de comparaison, mais peut également être un outil utile pour le développement professionnel médico-légal, comme le montre cette recherche.

Dans le domaine de la criminalistique, il faut parfois faire preuve d'ingéniosité pour obtenir les résultats souhaités, en procédant par essais et erreurs et en se familiarisant avec de multiples outils et applications qui n'ont pas nécessairement été créés pour ce domaine, mais qui peuvent être des techniques très utiles pour le processus d'examen et l'obtention de résultats.

Pour cette raison, l'objectif de cette recherche est de comparer et d'évaluer l'utilité du programme Teex^{MR} pour la comparaison des marques d'outils, en particulier des éléments balistiques, afin qu'ils puissent être utiles pour une enquête et un rapport d'expertise.

2. FONDEMENT ET ARGUMENTATION

La science, en tant que processus de compréhension et de développement de la pensée, doit être ouverte à l'ensemble de la société. Cependant, cette connaissance est souvent

restreinte par des intérêts économiques. La justice, en tant que science qui s'appuie sur d'autres sciences, a tenté d'instaurer l'équité dans le domaine du développement scientifique, mais cela n'a pas suffi pour atteindre tout le monde.

Dans le domaine pénal, les sciences, telles que la médecine légale, sont régulièrement utilisées pour aider à l'établissement des preuves, car on considère que la meilleure preuve est celle qui fait preuve d'une grande rigueur dans son raisonnement, et si celui-ci est subordonné aux sciences naturelles et exactes, a fortiori. Ce qui est en partie une erreur, mais on lui accorde néanmoins une confiance excessive. Au contraire, l'une des meilleures justifications de la réflexion est ce que l'on qualifie de scientifique.

En ce qui concerne les sciences médico-légales au Mexique, on peut commencer par les laboratoires officiels, c'est-à-dire ceux qui sont réglementés par le gouvernement. Dans la République mexicaine, « à la fin de l'année 2022, 32 coordinations ont été signalées au sein du ministère public fédéral (FGR) et 397 unités de services d'expertise et/ou de médecine légale dans les entités fédérales » (INEGI, 2023, p. 12).

En 2022, l'effectif total des coordinations et des unités des services d'expertise et/ou des services médico-légaux s'élevait à 13 827 personnes. Par domaine, 12,6 % (1 737) appartenaient à la FGR, tandis que 87,4 % (12 090) appartenaient aux unités étatiques. Par rapport à 2021, les effectifs du FGR ont diminué de 5,8 %, tandis que ceux des unités étatiques ont augmenté de 1,4 % (INEGI, 2023, p. 17).

En 2022, le FGR a reçu 325 196 demandes d'intervention d'experts, qui ont toutes été acceptées ; ce chiffre représente une augmentation de 17,6 % par rapport à 2021. Pour leur part, les unités étatiques ont reçu 4 505 448 demandes, dont 99,97 % ont été acceptées et 0,03 % rejetées ; le nombre de demandes reçues a diminué de 1,7 % par rapport à 2021 (INEGI, 2023, p. 25).

Si l'on fait un exercice imaginaire, on traite en moyenne 188 demandes par expert et par an au niveau fédéral (FGR), ce qui représente près d'une demande tous les deux jours. Au niveau des États, cela représenterait 373 demandes par an, soit un peu plus d'une par jour.

Ce calcul ne tient pas compte des vacances, des jours fériés, de la semaine de travail et néglige la charge par matière et par État, en supposant que tout le personnel concerné effectue un travail d'expertise. Il donne toutefois une idée du contexte officiel de l'expertise dans la République mexicaine. Il démontre à première vue un manque de ressources humaines. Il faut tenir compte du fait que l'activité d'expertise ne s'assimile pas à un processus de production industrielle, car les examens dépendent de nombreuses variables pour garantir les délais de réponse, telles que l'état de l'indice, la quantité d'indices et/ou de preuves à examiner, le temps de traitement de l'indice et/ou de la preuve, le temps de réponse des équipes, entre autres. Cela nécessite un grand nombre d'experts dans divers domaines médico-légaux.

Il n'en va pas de même dans le domaine de la défense publique ou privée. En effet, s'il existe déjà des organismes disposant d'experts en sciences judiciaires, ceux-ci ne disposent ni de la même formation ni des mêmes moyens financiers que les organismes

dédiés à l'hu à l'enquête judiciaire. Cependant, la Constitution politique des États-Unis mexicains (CPEUM) stipule dans son article 17 ce qui suit :

La Fédération et les entités fédératives garantissent l'existence d'un service de défense publique de qualité pour la population et assurent les conditions nécessaires à un service professionnel de carrière pour les défenseurs. **Les rémunérations des défenseurs ne peuvent être inférieures à celles des agents du ministère public** (CPEUM, 2024, art. 17, par. 8).

S'il est vrai qu'il existe déjà des organismes publics chargés de la défense et que certains d'entre eux disposent d'experts dans divers domaines et/ou disciplines médico-légales, il est également vrai que, dans de nombreux cas, ils ne reçoivent pas la même rémunération que les ministères publics ou que les experts officiels. Cela est d'autant plus frappant qu'il s'agit d'une garantie établie dans la Constitution et non d'une simple disposition isolée.

L'article 20 de la CPEUM stipule également ce qui suit : « V. La charge de la preuve pour démontrer la culpabilité incombe à la partie accusatrice, conformément à ce qui est établi par le type d'infraction pénale. Les parties bénéficieront de l'égalité procédurale pour soutenir l'accusation ou la défense, respectivement » (CPEUM, 2024, art. 20, paragraphe A, section V), ce qui suppose une égalité de circonstances en matière de preuve, y compris dans le domaine de l'expertise, ce qui n'est pas équilibrée, que ce soit en raison des outils ou de l'accès dont on dispose dans certains endroits aux indices et/ou aux preuves, car souvent, ceux-ci ne peuvent pas être envoyés dans un laboratoire spécialisé pour y être analysés, et leur remise est improvisée dans un local du parquet, ce qui constitue une inégalité dans le déroulement de ce type de preuves.

À son tour, la CPEUM établit ce qui suit :

Huitième. Le Congrès de l'Union, les législatures des États et l'organe législatif du District fédéral doivent allouer les ressources nécessaires à la réforme du système de justice pénale. Les postes budgétaires doivent être indiqués dans le budget suivant immédiatement l'entrée en vigueur du présent décret et dans les budgets successifs. Ce budget doit être affecté à la conception des réformes juridiques, aux changements organisationnels, à la construction et à l'exploitation des infrastructures, ainsi qu'à la formation nécessaire des juges, des agents du ministère public, des policiers, des défenseurs, des experts et des avocats (CPEUM, 2024, art. huitième transitoire de la réforme de 2008).

Ce qui n'est toujours pas le cas, malgré le fait qu'il s'agisse d'une disposition de 2008, non seulement en ce qui concerne les domaines d'expertise des bureaux des défenseurs, mais aussi en raison du problème budgétaire et donc d'équipement et de formation dans les institutions d'expertise des parquets et des pouvoirs judiciaires de plusieurs États de la République mexicaine.

Il n'existe actuellement aucune étude comparative entre le programme Teex^{MR} et les programmes associés aux microscopes de comparaison balistique, peut-être parce que le programme a été créé dans le but de servir d'outil pour les étudiants, mais n'a pas été conçu de manière professionnelle pour une comparaison associée à l'activité professionnelle d'un expert. Il convient de mentionner que, lorsque nous avons interrogé

des experts officiels de laboratoires au Mexique et en Espagne, , ils n'avaient pas connaissance de ce programme et encore moins de sa portée. (Juanamaria66, 2020).

3. LE PROCESSUS D'ÉTUDE EN SCIENCES MÉDICO-LÉGALES

García, Z. et Luises E. (2022) définissent l'avis comme « l'émission d'une opinion sur un problème concret soulevé par un expert, en arrivant à des conclusions spécifiques sur la base des recherches effectuées, des procédures et des fondements techniques et scientifiques » (Département de la justice des États-Unis d'Amérique et al., p. 216).

Au Mexique, on distingue ce qu'il faut entendre par avis, rapport et rapport d'expert, car ces trois concepts présentent des différences non seulement sémantiques, mais aussi pratiques.

Dans cet ordre d'idées, Romero, Ana (2022) définit le rapport comme « le résultat d'une intervention qui, pour une raison quelconque, n'a pas pu être réalisée » (Département de la Justice des États-Unis d'Amérique et al., p. 277).

On peut comprendre que l'avis est l'activité qui, après avoir été réalisée, nécessite un opinion ou une hypothèse possible, tandis que le rapport d'expertise est celui qui, après avoir été réalisé et en suivant le processus idéal pour le cas en question, il n'est pas possible d'émettre un avis ou une hypothèse en raison d'une circonstance externe, comme ce serait le cas dans une comparaison lofoscopique, en raison de l'absence de crêtes permettant d'émettre une conclusion d'identification avec une personne contenue dans la base de données. On entend simplement par rapport celui qui, lorsque la demande est reçue, ne peut être réalisé en raison d'erreurs dans la demande, d'un manque d'indices et/ou de preuves à étudier, d'un dépassement du champ d'action du laboratoire, entre autres circonstances.

On peut également distinguer deux processus d'expertise ou d'expertise judiciaire, ceux qui ont pour but d'émettre des hypothèses sur des questions très précises et ceux qui visent à distinguer ou à identifier.

La comparaison est l'un des processus clés pour parvenir à une identification ou à une élimination. Elle consiste à comparer deux ou plusieurs indices et/ou preuves un par un (côte à côte), ce qui conduit à des résultats distinctifs qui, à leur tour, déclenchent une conclusion étayée par le processus, la technique, la méthode et les résultats.

Ce type d'activités est couramment observé dans les disciplines médico-légales telles que la balistique, la lofoscopie, la documentoscopie, la graphoscopie, les marques d'outils, entre autres.

Les conclusions auxquelles on peut parvenir après la comparaison peuvent être les suivantes : identification, élimination, résultat non concluant et inapte à l'étude. Ces variables peuvent être plus nombreuses ou porter un nom différent, mais leur essence reste la même.

4. TECHNIQUES DE COMPARAISON

L'optique a été une ressource inestimable pour la recherche, et cela n'a pas fait exception dans les sciences médico-légales, où cette technique est aujourd'hui utilisée dans presque tous les processus et dans la plupart des équipements utilisés en laboratoire. La photographie est l'une de ces techniques qui utilise l'optique pour obtenir des images fiables de ce qui est observé.

Parmi les techniques qui facilitent la comparaison, on trouve donc l'optique, associée à l'image numérique. Cette technique permet de voir des objets de plus petite taille qui ne sont pas visibles à l'œil nu. Il faut toutefois être prudent, car on pense souvent que l'image d'un appareil tel qu'un téléphone portable n'est pas suffisante pour obtenir une bonne résolution et n'est donc pas adaptée à la comparaison. Elle n'est pas totalement inutile, car les progrès technologiques ont permis d'obtenir de bonnes caractéristiques pour les objets de petite taille. Il faut tenir compte du fait que l'idéal pour la photographie médico-légale, en termes de pixels, est d'utiliser des appareils photo d'une résolution supérieure à 5 mégapixels. De nombreux appareils photo modernes, y compris ceux des téléphones portables, ont une résolution supérieure à celle-ci. Cependant, il ne faut pas se méprendre sur ce point, car si la résolution est importante, la netteté et la couleur le sont tout autant. Le capteur est donc l'élément clé pour obtenir ces deux caractéristiques de bonne qualité.

Un autre élément important est l'optique, c'est pourquoi un objectif avec zoom est préférable à un zoom numérique. La transposition peut être un bon outil pour prendre des photos à des fins de comparaison. Il s'agit d'utiliser des outils placés entre l'appareil photo et l'objectif, ce qui peut être un bon moyen d'obtenir de meilleurs gros plans, comme l'utilisation d'une loupe.

Pour la photographie, qu'elle soit manuelle ou réalisée à l'aide d'un microscope, il est recommandé de prendre au moins cinq photos par section. Il s'agit de prendre une photo avec une lumière directe et quatre avec une lumière rasante, en éclairant les quatre zones, en haut, en bas, à gauche et à droite. Cela dépendra beaucoup de l'étude, car il est possible de prendre davantage de photos en fonction des circonstances. Par exemple, en graphoscopie, il est recommandé de prendre une photo à contre-jour (lumière située du côté opposé à la surface où se trouve l'écriture). Il est également recommandé d'utiliser différentes sources de lumière, telles que la lumière blanche ou froide, la lumière jaune ou chaude, la lumière ultraviolette, la lumière infrarouge, entre autres. Avant tout, l'étude doit tenir compte du principe d'échange établi par Edmond Locard (Mummery, 2021, p. 512). Conformément à ce principe, il faut également tenir compte du principe de correspondance des caractéristiques, selon lequel il convient de comparer des objets dans des circonstances similaires, c'est-à-dire que si l'on utilise un éclairage blanc ou froid, les indices et/ou les preuves doivent être soumis aux mêmes conditions.

La lumière blanche LED est un bon choix, non seulement pour la comparaison des indices et/ou des preuves, mais aussi pour la protection de la vue, car elle est confortable et douce pour les yeux. « La lumière artificielle froide est la meilleure alternative à la lumière naturelle, car c'est celle qui s'en rapproche le plus. Elle fatigue moins les yeux » (Optica & Hispania, 2024, par. 18).

Les autres avantages de la lumière LED sont les suivants :

Elles sont beaucoup plus efficaces sur le plan énergétique, ce qui se traduit par une consommation d'énergie moindre. En outre, elles se caractérisent par une durée de vie beaucoup plus longue et plus élevée que celle des ampoules. Enfin, les LED n'émettent pratiquement pas de chaleur, ce qui est beaucoup plus pratique pour travailler confortablement avec le microscope et pour conserver l'échantillon en bon état (Mundo Microscopio, 2024, par. 20).

En balistique médico-légale ou dans l'étude des armes à feu et des marques d'outils, des outils tels que des loupes, des stéréoscopes et des microscopes de comparaison sont utilisés pour la comparaison. Ces outils sont utilisés en fonction de l'étape de l'étude, il est recommandé d'abord d'observer l'objet à l'œil nu sous différents angles de lumière, puis sous une loupe, puis d'utiliser un stéréoscope pour localiser les marques plus petites et plus spécifiques, afin de classer l'indice dans un groupe (ces étapes peuvent également s'appliquer à d'autres disciplines qui effectuent des comparaisons). Ils sont ensuite montés sur le microscope comparatif afin de procéder à une comparaison individuelle, c'est-à-dire côté à côté, dans des conditions d'éclairage similaires et avec le même grossissement.

5. THÉORIES POUR LA COMPARAISON D'ÉLÉMENTS BALISTIQUES

Pour effectuer la comparaison d'éléments balistiques, il existe différentes techniques telles que celles évoquées précédemment, mais elles s'accompagnent également de méthodologies, composées d'études continues qui se sont avérées efficaces dans le domaine des marques d'outils.

Parmi celles-ci, on peut citer la théorie de l'AFTE et celle du CMS.

Jack Dillon (2008), à propos de l'histoire de la CMS, nous indique que :

La CMS a été initialement proposée en 1959 par Al Biasotti. Elle mettait l'accent sur la nécessité d'établir des critères spécifiques pour l'identification des empreintes d'outils, en se concentrant sur l'idée qu'une identification se fait sur la base de caractéristiques individuelles fondées sur une perspective objective. Cette théorie s'appuie sur une étude réalisée à partir d'échantillons, à savoir une analyse de 720 comparaisons non concordantes connues des empreintes du champ et de la strie, et aucun cas n'a pu être trouvé dans lequel la CMS dépassait quatre lignes continues dans les comparaisons. En 1997, Biasotti et John Murdock ont publié conjointement leur travail intitulé « Critères quantitatifs conservateurs d'identification », en utilisant les critères du CMS (Dillon, p. 375).

Pour mieux comprendre cette théorie, il faut d'abord savoir qu'il existe des marques bidimensionnelles et tridimensionnelles dans les marques à analyser des éléments balistiques.

Marques bidimensionnelles. Ces marques, également appelées marques de compression ou empreintes, sont produites lorsqu'un outil applique une force suffisante sur un objet quelconque, laissant sur celui-ci une empreinte qui varie en fonction de son contour, de sa profondeur, de sa dimension, etc.

Marques tridimensionnelles. Ces marques sont également connues sous le nom de marques de friction, de traînée, d'abrasion, de stries ou de rayures. Elles sont produites lorsqu'un outil, en étant traîné avec une certaine force sur un objet, génère des rainures ou des marques linéaires. Ces marques ou bas-reliefs ont des contours et des profondeurs variés, produisant parfois des micro-rayures à l'intérieur de leur contour.

L'identification des marques d'outils permet généralement de distinguer différents niveaux. Dans le cas des marques d'outils, ces niveaux sont classés en trois catégories, indispensables à l'identification des marques. Il s'agit des catégories suivantes :

Caractéristiques de classe, qui sont celles où l'on observe des marques caractéristiques d'un type spécifique de marque, qui peuvent inclure un groupe d'outils et en exclure d'autres, mais seulement de manière générale.

Les caractéristiques de sous-classe, qui sont plus spécifiques que celles de classe, mais sans être individuelles, car elles permettent de distinguer un petit groupe de types d'outils, mais de manière générale ; il faut être prudent, car ces marques peuvent être attribuées à un groupe spécifique d'outils, mais pas à un outil en particulier.

Caractéristiques individuelles : ce sont les marques les plus petites qui servent à écarter un grand groupe de marques et à les rendre spécifiques à un outil particulier.

Enfin, cette théorie établit que les marques tridimensionnelles doivent comporter un groupe de cinq lignes consécutives concordantes ou deux groupes de trois lignes consécutives concordantes dans chaque marque, et pour les marques bidimensionnelles, un groupe de huit lignes consécutives concordantes ou deux groupes de cinq lignes consécutives concordantes (Dillon, 2008). Cela ne s'applique qu'à la comparaison de caractéristiques individuelles, il faut donc prêter attention à ces caractéristiques.

La théorie de l'Association des examinateurs d'armes à feu et de marques d'outils (AFTE) stipule que la distinction de ces caractéristiques doit être spécifique et discernable en apparence (appréciable et concordante), sans donner lieu à une interprétation quantitative de celles-ci, comme le stipule la théorie du CMS.

Les formes ou caractéristiques individuelles non consécutives (bidimensionnelles) peuvent également être comparées, mais elles doivent avoir la même forme et la même disposition dans l'emplacement, et si possible, la taille de la marque doit également être prise en compte.

Il existe actuellement de nouvelles techniques qui facilitent l'identification grâce à la photogrammétrie ou à des images en bas-relief et en haut-relief, qui sont parfois combinées à des programmes ou des plateformes qui aident à l'observation des marques. Bien que les techniques varient, les principes d'identification restent les mêmes. Elles se basent principalement sur les marques allant du général (marques de classe) au spécifique (marques individuelles), permettant ainsi d'exclure certains candidats lors de l'identification.

6. COMPARAISON D'ÉLÉMENTS BALISTIQUES À L'AIDE DE DIFFÉRENTS ÉQUIPEMENTS ET PROGRAMMES

La microscopie est l'un des dispositifs qui ont utilisé l'optique et la photographie. Aujourd'hui, c'est le meilleur dispositif qui ait été démontré pour la comparaison. Cependant, dans le passé, des dispositifs tels que le système ou le comparateur photographique d' Belaunde (Gamarra, G. Skopein, p. 43), qui fait référence au chercheur Ernesto Manuel Belaunde. Ce système prenait une série de photographies d'une balle, puis les alignait afin de pouvoir les comparer par superposition ou côté à côté de manière plus pratique, car il s'agissait d'images plus larges.

L'expert en microphotographie Philipp O. Gravelle a eu l'idée d'inventer le microscope de comparaison balistique, en reliant deux microscopes à l'aide d'un dispositif optique (Jiménez, J. 2011, par. 8).

Aujourd'hui, tous les équipements sont associés à divers programmes qui, selon leurs fonctions, permettent d'effectuer différentes actions, telles que la superposition d'images, leur balayage, le changement de couleurs, entre autres.

Il existe divers programmes tels que Photoshop® ou similaires, qui aident à améliorer les images, mais qui peuvent également servir à la comparaison dans le domaine médico-légal, ce qui permet de disposer d'outils facilitant la visualisation de petits détails et, à son tour, d'une forme graphique pour l'illustration devant un tribunal (Solana E, 2020).

Mais il existe également des programmes qui facilitent le travail de comparaison avec un budget moindre, ce qui ne se traduit pas toujours par un compromis entre le prix ou l'accessibilité et la fiabilité. L'un de ces programmes, dont les fonctions sont conçues pour le domaine médico-légal, est celui appelé « *testigo experto* » ou *Teex^{MR}* .

Il existe également des caméras et des microscopes couplés à des programmes et des fonctions spécifiques en fonction de l'application. Par exemple, pour les empreintes lofoscopiques, il existe des équipements permettant d'améliorer et d'acquérir des images directes d'objets, c'est-à-dire que le travail de transplantation de l'empreinte est réalisé par des moyens photographiques. En ce qui concerne la graphoscopie, il existe des fonctions permettant de voir les traits en trois dimensions, ce qui est utile dans les cas de croisement d'encre. Il existe également d'autres fonctions, selon ce que l'on souhaite et ce que l'on veut comparer.

7. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

Des comparaisons systématiques ont été effectuées à l'aide de programmes de comparaison microscopique pour les éléments balistiques, en accordant une attention particulière aux programmes des équipements habituellement utilisés pour la comparaison, tels que Leica, Leeds, Vision X^{MR} et le programme proposé pour l'analyse en termes de fonctionnalité *Teex^{MR}* .

Deux échantillons différents de douilles de calibre 9x19 mm et .38" spécial ont été examinés, car au moment de l'étude, il s'agissait des calibres les plus courants comparés dans le laboratoire où l'étude a été menée, ainsi que du type d'arme (pistolet et revolver). Les comparaisons ont été effectuées avec des échantillons de douilles témoins (douilles provenant d'une arme connue), et les études ont été répétées au microscope et sur les plateformes de ceux-ci. Des microphotographies ont été prises avec l'appareil photo couplé au microscope VixionX^{MR}, ainsi qu'avec un appareil photo Canon modèle EOS Rebel T7i, en utilisant un objectif zoom avec une distance focale de 18-55 mm (celui-ci est couramment utilisé car c'est généralement celui qui est vendu avec l'appareil photo).

Les échantillons ont été placés côté à côté sur chaque platine des microscopes étudiés, et des tests de vision de l'image ont été effectués à l'aide des outils dont chaque microscope disposait dans son programme d'usine, ainsi que du programme Teex^{MR}, tels que les lumières, les nuances, le placement de la division entre les échantillons, les fonctions des pointeurs et du texte. Des comparaisons ont également été effectuées sur les plateformes avec une paire de chaque douille (9x19 mm et .38" spéciale), en utilisant les outils de chaque plateforme et en vérifiant les fonctions suivantes : côté à côté et haut en bas, superposition, lumières, gammes de couleurs, contrastes, zooms et marqueurs spéciaux pour l'image.

Une attention particulière a été accordée aux fonctions de zoom, de superposition et de vision côté à côté de l'échantillon, afin de vérifier cette fonction, qui est considérée comme la plus importante lors d'une comparaison.

Des captures d'écran des comparaisons de douilles ont été prises afin d'illustrer leur comparaison dans l'étude.

Les étapes suivantes ont été suivies :

1. Sélection de douilles à percussion centrale de calibre 9 mm et .38 SPL
2. Nettoyage des douilles
3. Choix de trois systèmes couramment utilisés avec différentes sources lumineuses : lumière tungstène (Leica^{MR}), lumière fluorescente (Leeds^{MR}) et lumière LED (Vision X^{MR})
4. Chargement des photographies obtenues à partir des microscopes et chargées dans le programme Teex^{MR}
5. Comparaison des fonctions de base de chaque programme, les principales étant :
 - Zoom
 - Diviseurs d'image pour comparaison
 - Superposition d'images
 - Fonctions de pointeur et de texte

- Fonctions de gammes de contrastes

6. Comparaison des résultats obtenus dans chaque programme.

Aucune étude n'a été menée sur la résolution de l'image, mais uniquement sur son amélioration grâce aux programmes et aux fonctionnalités dont disposait chaque programme, en effectuant une comparaison entre tous afin de connaître le contenu de chacun et sa facilité d'utilisation.

8. COMPARAISON DE LA COMPARAISON D'ÉLÉMENTS BALISTIQUES À L'AIDE DE DIVERS PROGRAMMES

L'étude a été réalisée en partant du principe du programme de comparaison Teex^{MR} et de ses fonctions, en prenant comme référence trois microscopes professionnels de laboratoire et leurs programmes de microscopie professionnelle associés, à savoir Leica^{MR}, LEEDS^{MR} et Vision X^{MR}, ce dernier provenant de la société Forensic Technology^{MR}, tous ces programmes étant comparés au programme de comparaison Teex^{MR}. Des échantillons de douilles standard ont été pris en compte, et l'optique n'a pas été évaluée directement, mais plutôt la plateforme dans son ensemble, car l'optique dépend directement de l'outil de capture et non du programme qui génère les processus de visualisation et de comparaison.

Ci-dessous, vous pouvez voir les différentes fonctions sur l'écran principal de comparaison des programmes intégrés aux microscopes Leeds^{MR}, Vision X^{MR} et Leica^{MR}, dans cet ordre.

Figure 1

Photographie comparative du culot des douilles du système du microscope Leeds^{MR} où l'on peut voir les fonctions générales en haut et à droite.

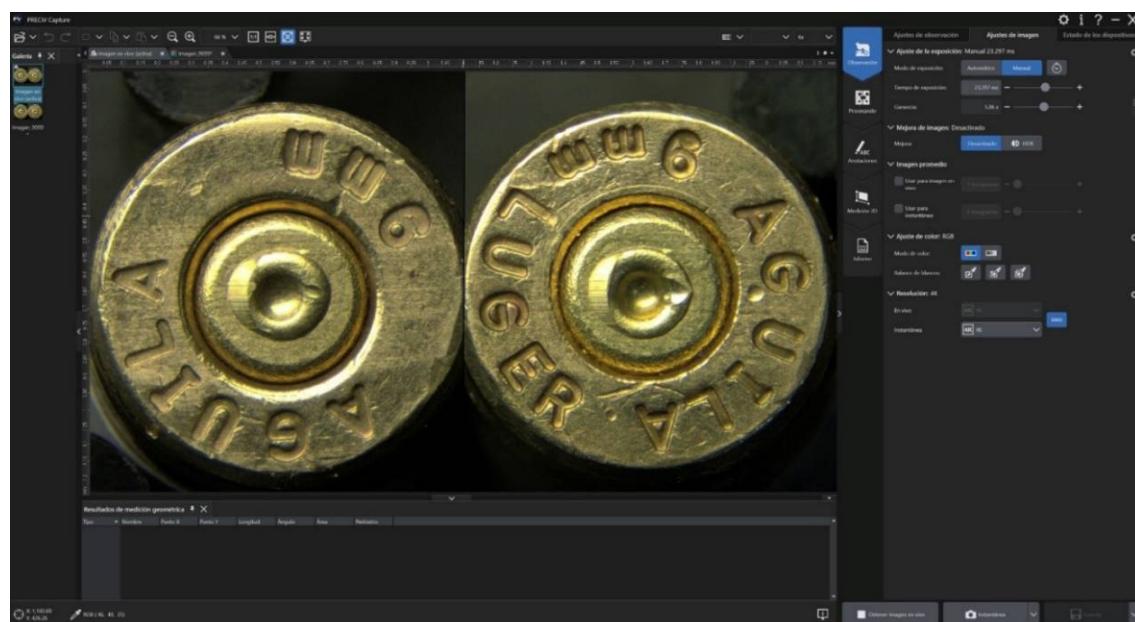


Figure 2

Photographie comparative des culots dans le système du microscope Vision X^{MR} où l'on peut voir ses fonctions générales en haut et à droite.

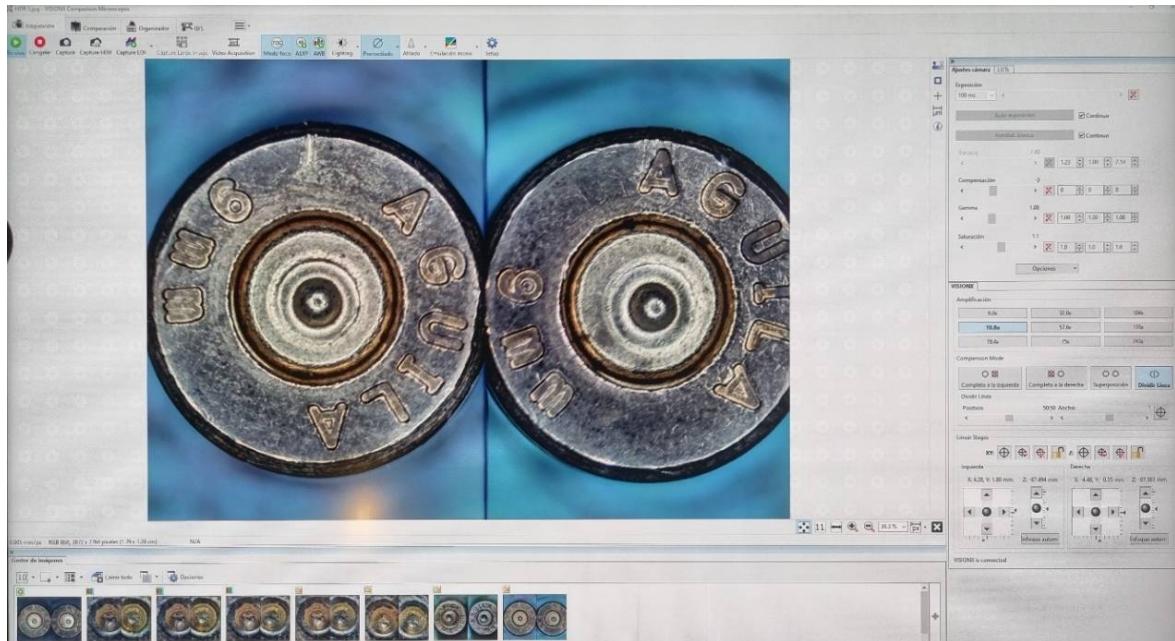


Figure 3

Photo comparative des culots de douilles du système de microscope Leica^{MR}, où l'on peut voir leurs fonctions générales dans les onglets supérieurs et sur les côtés droit et gauche de l'écran.



Il convient de souligner que le programme ou l'application Teex^{MR} est une ressource d'aide à la comparaison, mais qu'il ne s'agit pas d'une plateforme avec microscope. Il est donc nécessaire de disposer de microscopes ou simplement de caméras pour capturer les indices et/ou les preuves. Il est intéressant de noter que les caméras ou les microscopes peuvent être connectés à un ordinateur équipé du programme, ce qui permet de voir en temps réel ce qui est enregistré sur les appareils connectés. En ce qui concerne la résolution, celle-ci dépendra en grande partie des périphériques connectés. La conception de la plateforme est pensée pour la comparaison de divers indices et/ou preuves, et pas seulement pour les éléments balistiques. L'image 4 montre un ordinateur avec deux microscopes connectés.

Image 4
Programme Teex^{MR} avec connexion de microscopes portables de chaque côté



Remarque. Image fournie par le fournisseur et auteur en balistique médico-légale Cibrián, O. 2024,[11].

S'il n'est pas possible de connecter un appareil, il est également possible de charger les images précédemment capturées à partir d'un fichier, ce qui permet une gestion pratique des images lorsqu'elles ne sont pas en temps réel.

La société Arfus^(MR),fournisseur de ce système, le décrit comme un :

Comparateur numérique destiné à développer les compétences en techniques de comparaison des étudiants et futurs professionnels de la criminalistique, de la criminologie et des sciences médico-légales, telles que l'identification des armes à feu et des marques d'outils, ainsi que d'autres matières liées aux connaissances spécialisées qui fournissent des avis fondés aux tribunaux sur les points litigieux faisant l'objet d'expertises (Delgadillo, 2020).

Bien qu'il s'agisse d'un programme ou d'une application principalement destiné à l'éducation, il est également très pratique dans le domaine professionnel, en particulier

pour les cas où l'on ne dispose pas d'équipements de comparaison ou où le transfert des indices et/ou des preuves vers le lieu où se trouvent les équipements spéciaux n'est pas autorisé.

Les utilisations dépendent principalement de l'utilisateur, mais tout ce qui nécessite une comparaison peut être utilisé via cette plateforme, par exemple la comparaison de documents, d'écritures, d'empreintes, de marques d'outils, de blessures, entre autres.

Les spécifications minimales pour faire fonctionner ce système sont les suivantes : un PC, un mobile, un Surface Hub, un HoloLens, équipé de Windows 10 ou d'une version ultérieure, une mémoire minimale de 2 Go et 4 Go recommandés, une caméra connectée et une mémoire vidéo recommandée de 1 Go (Delgadillo, 2020). L'image 5 montre une comparaison entre deux douilles côté à côté et diverses fonctions du programme sur le côté gauche.

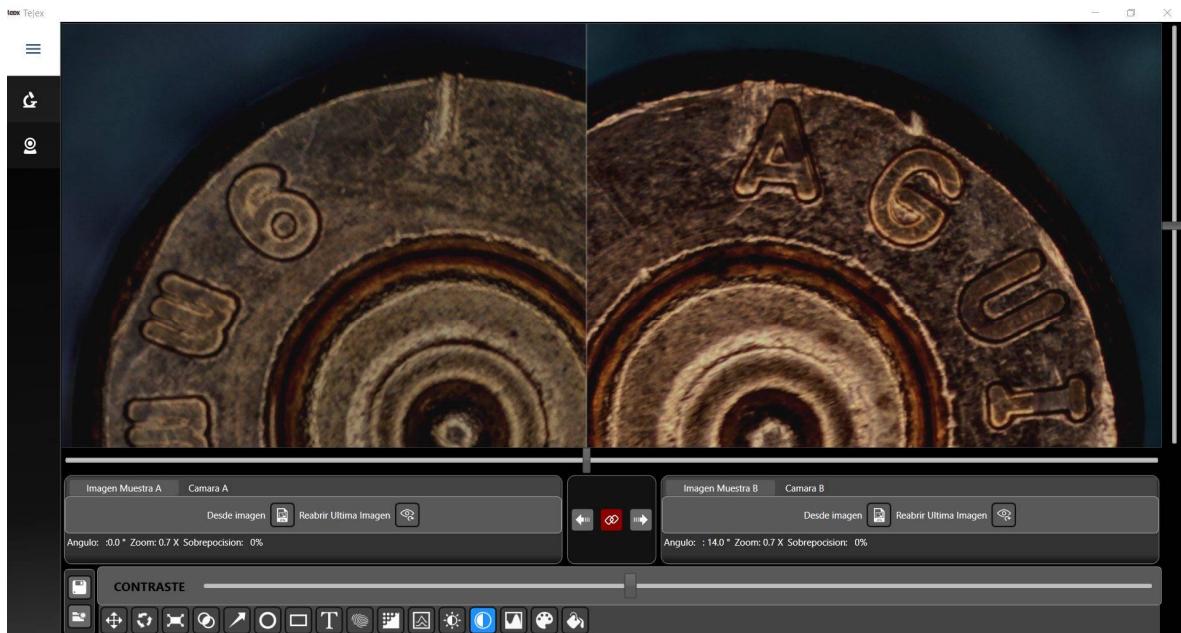
Image 5

Écosystème du programme Teex^{MR} dans une comparaison de deux douilles, où leurs fonctions sont visibles sur le côté gauche et en bas.

Remarque. Image fournie par le fournisseur et l'auteur en balistique médico-légale Cibrián, O. 2024 [15]



Figure 6
Comparaison des marques d'extracteur sur le bord supérieur de deux douilles avec le programme Teex^{MR}



Remarque. Image tirée directement du programme avec une comparaison avec des photographies prises au microscope.

Après avoir testé l'environnement visuel de divers équipements professionnels et du programme Teex^{MR} , une comparaison générale des qualités des programmes de chaque microscope et du programme Teex^{MR} a été réalisée. Elle est résumée dans le tableau 1, qui présente les principales fonctionnalités de chaque système et leurs principales caractéristiques, dans le but principal de décrire la fonctionnalité du système TeeX^{MR} par rapport à celle des microscopes professionnels.

Tableau 1

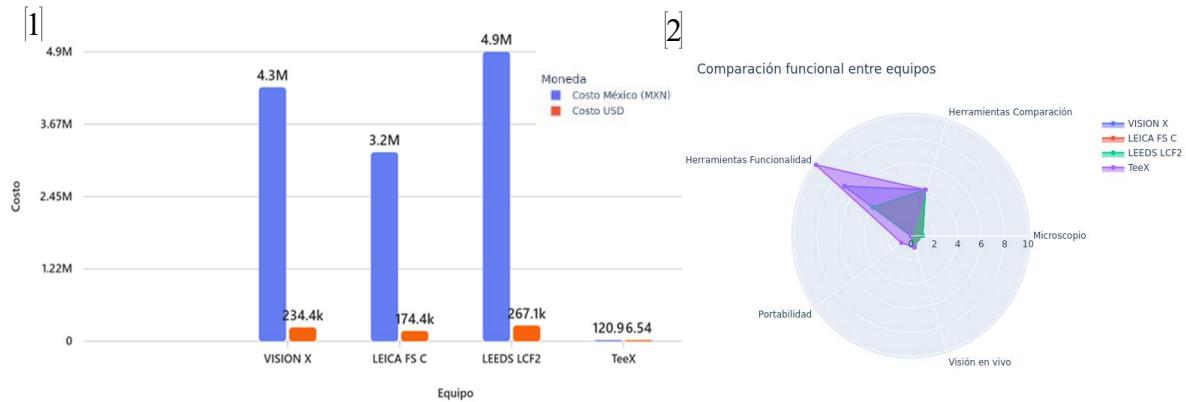
Comparaison des caractéristiques du programme pour la comparaison de différentes marques de microscopes et du programme *TeeX^{MR}*

CARACTÉRIS TIQUES ASSOCIÉES AU PROGRAMME	NOM DE L'ÉQUIPEMENT ET/OU DU PROGRAMME			
	VISION X ^{MR}	LEICA FS C ^{MR}	LEEDS LCF3 ^{MR}	TeeX ^{MR}
Image	Verticale et latéralement correcte	Verticale et latéralement correcte	Verticale et latéralement correcte	Verticale et latéralement correcte
Comparaison	côte à côté, côté gauche ou droit complet, superposé	côte à côté, côté gauche ou droit complet, superposé	côte à côté, côté gauche ou droit complet, superposé	côte à côté, côté gauche ou droit complet, superposé
Ligne de séparation	Configuration complète de la position et de la largeur motorisée et mémorisée dans le contrôleur	Configuration manuelle de la position et de la largeur	Configuration manuelle de la position et de la largeur	Numérique avec configuration manuelle de la position et de la largeur
Image en direct des caméras numériques*	Caméra HDMI avec image. Mémoire sur carte SD, résolution de 1920 x 1080 pixels, incluse dans la version de base Fonctions logicielles	Plusieurs caméras numériques en direct disponibles	Plusieurs caméras numériques en direct disponibles	Dépend du couplage de l'équipement photographique, qui peut être couplé au système.
Fonctions du programme	VisionX SW comprend le contrôle de la caméra, la capture d'images, l'annotation d'images, l'analyse d'images, l'archivage d'images, la mesure et les capacités de comparaison. Fonction de contrôle à distance	Logiciel LAS, contrôle la caméra, capture et gère les images et prend en charge les mesures	Logiciel LAS, contrôle la caméra, capture et gère les images et prend en charge les mesures	

Remarque . Le tableau présente les caractéristiques des programmes et seulement certaines des caractéristiques des équipements. Les informations relatives aux équipements VISION X^{MR}, LEICA FS C^{MR} et LEEDS LCF3^{MR} ont été extraites du catalogue comparatif de Projectina^{MR} (Visionx & Comac, 2017).

Graphiques 1 et 2

1. Comparaison des prix des équipements et des programmes 2. Comparaison des avantages et des inconvénients des équipements et des programmes pour la comparaison de différentes marques de microscopes et du programme TeeX^{MR}



Remarque : les prix sont des estimations obtenues auprès des fournisseurs en 2025. Le seul élément portable est le programme TeeX^{MR}, comme le montre le graphique 2.

9. DISCUSSION

La résolution des images dépendra de l'appareil photo utilisé pour les prendre. Comme mentionné précédemment, l'objectif de cette étude n'était pas de comparer la netteté des images, mais l'efficacité des services offerts par leur système ou leur plateforme. Les fonctionnalités proposées par les équipements Vision X, Leica^{MR} et Leeds^{MR} comprennent des fonctions qui facilitent la comparaison, associées à leurs multiples objectifs et à l'efficacité de leur plateforme. Toutefois, les fonctions de comparaison, de comparaison en temps réel, de superposition, de rotation, de modification de l'éclairage et du contraste sont également disponibles dans le programme TeeX^{MR}, qui répond donc à cet égard aux conditions propres à chacune des plateformes examinées.

L'analyse réalisée montre que la technologie a considérablement transformé les processus dans le domaine des sciences médico-légales, en offrant des outils plus accessibles qui permettent de réduire l'écart entre les laboratoires aux ressources limitées et ceux disposant d'équipements haut de gamme. Le programme TeeX^{MR}, bien qu'initialement conçu à des fins éducatives, s'est révélé être une alternative fonctionnelle pour la comparaison des indices balistiques, reproduisant les principales caractéristiques des systèmes professionnels tels que la comparaison côte à côte, la superposition et le réglage du contraste. Bien qu'il ne remplace pas la précision optique des microscopes spécialisés, son faible coût et sa facilité d'utilisation en font une option viable pour la formation universitaire et pour les situations où l'accès à des équipements de pointe est limité.

Cette découverte renforce l'importance de l'innovation technologique axée sur la démocratisation des connaissances et des pratiques médico-légales, sans perdre de vue

que l'expérience professionnelle et la rigueur méthodologique restent des éléments essentiels pour garantir la validité des résultats.

Parmi les propositions pour l'avenir de cette étude, on peut citer : 1. Intégration de l'intelligence artificielle : explorer l'incorporation d'algorithmes d'IA pour la détection automatique de caractéristiques individuelles dans les marques balistiques, en optimisant le processus de comparaison et en réduisant le temps d'analyse. 2. Essais dans des environnements judiciaires : analyser la faisabilité de l'utilisation de Teex^{MR} lors d'audiences et devant les tribunaux, en évaluant son acceptation en tant qu'outil auxiliaire dans la présentation de preuves d'expertise. 3. Extension à d'autres disciplines médico-légales : étudier l'application du programme dans des domaines tels que la documentoscopie, la lofoscopie et l'analyse des blessures, afin de déterminer sa polyvalence dans différents scénarios d'expertise. 4. Étude d'impact économique et social : mesurer l'impact que l'adoption d'outils accessibles tels que Teex^{MR} aurait sur les laboratoires aux ressources limitées, en tenant compte de la réduction des coûts et de la démocratisation de l'accès à la technologie. 5. Élaboration de normes de validation : proposer des protocoles et des réglementations garantissant la fiabilité des résultats obtenus avec les plateformes numériques, conformément aux normes internationales en matière de sciences médico-légales.

10. CONCLUSION

L'utilisation de la technologie a évolué rapidement depuis l'an 2000, ce qui a permis aux sciences, aux arts, aux disciplines, aux professions, entre autres, de bénéficier des nouvelles techniques existantes. Le domaine médico-légal s'est technicisé, améliorant les études et les rendant plus efficaces. Les progrès de la microscopie combinés à l'informatique permettent de réaliser des choses qui n'étaient pas possibles auparavant.

S'il est vrai que la technologie a aidé les sciences médico-légales, il est également vrai que bon nombre des progrès réalisés ne sont pas accessibles à tous. Certains laboratoires utilisent encore des technologies anciennes, qui ne sont pas pour autant inefficaces, mais qui ne contribuent pas à l'efficacité des processus. Compte tenu de ce qui précède, des alternatives ont été mises en œuvre afin de rendre ces avantages de plus en plus accessibles.

Dans le cadre de cette recherche, nous avons pu montrer l'utilisation d'une technologie accessible pour les comparaisons, contrairement à la technologie actuellement utilisée par certains laboratoires officiels. Ce programme (Teex^{MR}) permet à l'utilisateur d'effectuer une comparaison soit directement avec les indices et/ou les preuves, soit indirectement avec les photographies fournies des indices et/ou des preuves. Bien que ce programme soit conçu pour l'éducation et une approche plus réaliste de l'enseignement des comparaisons d'indices et/ou de preuves tels que les douilles, les balles, les empreintes, les documents, entre autres, on peut conclure qu'il est également pratique et utile pour les laboratoires établis. Non seulement il permet une comparaison en temps réel, mais il peut également être utilisé n'importe où, y compris dans un tribunal.

Il ne faut pas oublier que la science a toujours tendu vers la communication et l'accessibilité de ses connaissances et que, de plus en plus, cette idée peut être réalisée grâce aux progrès technologiques, qui permettent l'accessibilité d'outils qui étaient auparavant impossibles à obtenir.

Il convient de mentionner que l'utilisation d'un équipement ou d'un programme ne suffit pas à elle seule à apporter les connaissances et l'expérience nécessaires. Elle doit donc toujours être associée à une connaissance du sujet et à des méthodologies internationalement reconnues. Ces dernières peuvent être consultées dans les publications de diverses organisations internationales spécialisées dans les sciences médico-légales, qui publient les avancées et les normes relatives à l'étude de cas concrets dans chaque science ou discipline. Les théories exprimées dans cette recherche sont un exemple de normes en matière d'armes à feu et de marques d'outils.

11. REMERCIEMENTS

Au Dr Octavio Cibrián Vidrio, expert médico-légal, pour son soutien et sa contribution en images et en informations.

Aux experts en examen des armes à feu et des marques d'outils du laboratoire de balistique médico-légale d'Aguascalientes, au Mexique.

À l'expert médico-légal Ing. Noé Castañeda, du service de formation de l'Agence d'enquête criminelle (A.I.C.) de l'État de Guanajuato.

Aux experts en balistique médico-légale, en particulier J. Luis Ferrando, J. Ángel Jiménez et José Francisco Sánchez, du laboratoire de balistique médico-légale de la Garde civile espagnole.

12. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Cibrián, O. (2024). *Images TEEEX*

Delgadillo, F. (2020). Teex [logiciel informatique]. Mexique :

Département de la Justice des États-Unis d'Amérique, OPDAT, Office of Overseas Prosecutorial Development, Assistance and Training, CJF, C. d. l. J. F., & Licence en sciences médico-légales, Faculté de médecine, UNAM. (2022). *Guides pour l'évaluation judiciaire des preuves d'expert en matière d'identification humaine, de dentisterie médico-légale, de psychologie médico-légale, d'analyse vidéo numérique, de balistique, de médecine légale et de criminalistique de terrain*. UBIJUS.

Constitution politique des États-Unis mexicains (CPEUM), Constitution U.S.C. (1917).

Extrait de : <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>

Dillon, J. H. (2008). *Formation des experts en armes à feu, module 09 : Examen des cartouches et des douilles*. NFSTC. https://projects.nfstc.org/firearms/module09/fir_m09.htm

Gamarra Viglione, G. A. (2014). Notions d'identification en microscopie balistique. *Skopein : La justice entre les mains de la science*, (4), 43–49. Extrait de : <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=4761252>

INEGI. (2023). *Intégration des résultats généraux des services d'expertise 2023*

Jiménez, J. (2011, 2 décembre). Origines de la balistique médico-légale. *Madridiario* <https://www.madridiario.es/noticia/210769/sucesos/origenes-de-la-balistica-forense.html>

Juanamaria66. (6 septembre 2020). Un habitant de Jalisco crée un logiciel pour les études médico-légales. <https://efectoезpiral.com/2020/09/06/jalisciense-crea-software-para-estudios-forenses/>

Mummery, D. (2021). Every contact leaves a trace. *British Journal of General Practice*, 71(712), 512. 10.3399/bjgp21X717569

Mundo Microscopio. (2024). *Système d'éclairage du microscope*. <https://www.mundomicroscopio.com>. Consulté le 11 octobre 2024. https://www.mundomicroscopio.com/sistema-de-iluminacion-del-microscopio/#google_vignette

Optica , & Hispania. (2024). *Quel type d'éclairage est le plus sain pour la vue ?* <https://opticahispania.es>. Consulté le 11 octobre 2024. <https://opticahispania.es/la-iluminacion-mas-sana-para-la-vista/>

Solana Aguilar, E. G. (2021). Comparaison par superposition d'empreintes digitales à l'aide du programme Adobe PhotoShop/Comparison by overlaying fingerprints

using the adobe photoshop[R] program. *Revue Archivos de Criminologia, Criminalistica y Seguridad Privada*, (26), 134

Visionx, P., & Comac, P. (2017). *Comparaison technique : microscopes de comparaison VisonX, COMAC, LEEDS discovery et LCF3, leica FSM et FSC*