

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2026,
Volumen 10, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2

ANÁLISIS COMPARATIVO DE FIRMAS MANUSCRITAS Y ELECTRÓNICAS EN GRAFOSCOPIA FORENSE

**COMPARATIVE ANALYSIS OF HANDWRITTEN
AND ELECTRONIC SIGNATURES IN FORENSIC
DOCUMENT EXAMINATION**

Alfredo García Anaya
Investigador forense independiente, México

Análisis Comparativo de Firmas Manuscritas y Electrónicas en Grafoscopia Forense

Alfredo García Anaya¹

gestiones.legales1409@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-6539-5070>

Maestro en Investigación Criminal en las Ciencias Forenses

Especialista en Criminalística; licenciado en Derecho

Investigador forense independiente

Socio numerario de la Sociedad Española de Investigación Criminológica

Ciudad Victoria, Tamaulipas

México

RESUMEN

La coexistencia de firmas manuscritas, firmas escaneadas, firmas capturadas dinámicamente y firmas electrónicas avanzadas ha transformado el objeto tradicional de la grafoscopia forense. El problema ya no consiste únicamente en comparar trazos visibles, sino en determinar qué variables conservan valor inferencial cuando la firma está mediada por procesos de digitalización, captura biométrica o validación criptográfica. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una revisión estructurada, técnico-crítica y reproducible de la literatura relevante y, a partir de ella, proponer un modelo híbrido de examen aplicable a controversias sobre firmas en entornos documentales mixtos. La búsqueda se realizó el 18 de abril de 2026 en PubMed, Crossref y fuentes institucionales y normativas, mediante criterios explícitos de inclusión, exclusión y control de sesgos. Se integraron 27 fuentes entre monografías fundamentales, estudios empíricos, lineamientos técnicos, estándares y referencias jurídico-normativas. Los hallazgos muestran que los criterios grafoscópicos clásicos siguen siendo útiles, pero dejan de ser autosuficientes cuando falta material original, datos dinámicos o integridad técnica del archivo. En respuesta, se propone un modelo de siete fases que articula clasificación del objeto cuestionado, preservación, suficiencia comparativa, análisis morfológico, análisis dinámico, examen documentoscópico-digital y reporte evaluativo. Se concluye que la fuerza probatoria del examen depende de la convergencia entre calidad gráfica, trazabilidad tecnológica, control del sesgo y explicitación de límites inferenciales.

Palabras clave: grafoscopia; documentoscopia; firma electrónica; evidencia digital; prueba documental

¹ Autor principal

Correspondencia: gestiones.legales1409@gmail.com

Comparative Analysis of Handwritten and Electronic Signatures in Forensic Document Examination

ABSTRACT

The coexistence of handwritten signatures, scanned signatures, dynamically captured signatures, and advanced electronic signatures has transformed the traditional object of forensic handwriting examination. The problem is no longer limited to comparing visible strokes, but rather to determining which variables retain inferential value when a signature is mediated by digitization, biometric capture, or cryptographic validation. The aim of this study was to develop a structured, reproducible, and critical review of the relevant literature and, on that basis, to propose a hybrid examination model for disputes involving signatures in mixed documentary environments. The search was conducted on April 18, 2026 through PubMed, Crossref, and institutional and regulatory sources, using explicit inclusion, exclusion, and bias-control criteria. Twenty-seven sources were included, comprising foundational monographs, empirical studies, technical guidelines, standards, and legal-normative references. The review shows that classical graphoscopic criteria remain useful but cease to be self-sufficient when original material, dynamic data, or file integrity are lacking. In response, a seven-phase model is proposed linking classification of the questioned object, preservation, comparative sufficiency, morphological analysis, dynamic analysis, questioned-document/digital analysis, and evaluative reporting. The evidential strength of the examination depends on the convergence of graphical quality, technological traceability, bias control, and explicit inferential limits.

Keywords: graphoscopy; questioned-document examination; electronic signature; digital evidence; documentary evidence.

*Artículo recibido 02 abril 2026
Aceptado para publicación: 30 abril 2026*



INTRODUCCIÓN

La firma continúa siendo uno de los signos de atribución personal con mayor relevancia probatoria en la práctica documental contemporánea. En contratos, autorizaciones, títulos de crédito, expedientes administrativos y actuaciones judiciales, su autenticidad se relaciona con identidad, manifestación de voluntad y vinculación jurídica. Por ello, la controversia sobre si una firma es auténtica, apócrifa, transferida, digitalmente insertada o técnicamente inconcluyente no constituye una cuestión meramente formal, sino un problema capaz de modificar la valoración del acto jurídico y el peso de la prueba documental (Ellen, 2005; Hilton, 1982; Kelly & Lindblom, 2006; Osborn, 1929).

La grafoscopia y la documentoscopia clásicas desarrollaron sus principales herramientas de análisis en contextos dominados por documentos originales en soporte físico o, al menos, por materiales cuya materialidad permitía observar de manera directa rasgos relevantes como calidad de línea, continuidad, ritmo, puntos de inicio y terminación, presión y alteraciones del soporte. Esa estructura metodológica conserva valor, pero fue concebida para un objeto relativamente estable: la firma manuscrita sobre papel, sometida a análisis, comparación y evaluación pericial (ASTM International, 2009; Ellen, 2005; Harralson & Miller, 2018; Hilton, 1982; Kelly & Lindblom, 2006; Osborn, 1929). La práctica contemporánea, en cambio, enfrenta firmas escaneadas, firmas insertadas como imagen en archivos electrónicos, firmas capturadas sobre tableta mediante registros de coordenadas espaciales, presión y tiempo, y firmas electrónicas avanzadas cuya eficacia técnica depende de certificados digitales, sellos de tiempo u otros mecanismos criptográficos (Casey, 2011; Faundez-Zanuy et al., 2020; Impedovo & Pirlo, 2008; Jain et al., 2004; Zimmer et al., 2021).

La transformación digital del documento introdujo, además, un problema jurídico y técnico adicional. En el contexto mexicano, el Código de Comercio y la Ley de Firma Electrónica Avanzada reconocen eficacia jurídica a determinados actos celebrados por medios electrónicos, en consonancia con la lógica funcional promovida por la Ley Modelo de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI) sobre Comercio Electrónico. Sin embargo, la validez normativa de una firma electrónica no resuelve por sí sola todas las preguntas periciales que pueden surgir en un litigio.



Un archivo íntegro y técnicamente firmado puede seguir generando controversias sobre autoría material, uso indebido del medio de autenticación, regularidad del proceso de captura, manipulación del documento o suficiencia comparativa del material disponible (Casey, 2011; Consejo de Europa, 2001; ISO, 2021; México, s. f.-a; México, s. f.-b; UNCITRAL, 1996/1998).

Este desplazamiento ha favorecido dos reduccionismos igualmente problemáticos. El primero consiste en tratar toda firma electrónica como si fuera solo una firma manuscrita trasladada a una pantalla y, por tanto, bastara con comparar siluetas o proporciones visibles. El segundo consiste en asumir que la existencia de un certificado, un sello digital o una validación administrativa excluye cualquier necesidad de examen pericial. Ninguno de ambos enfoques resulta satisfactorio. El primero ignora la mediación tecnológica del dato y las pérdidas o transformaciones que pueden derivarse del proceso de digitalización, exportación o captura. El segundo borra la diferencia entre integridad técnica del documento y autoría material del acto de firmar, distinción central para la valoración probatoria en contextos controvertidos (Casey, 2011; Harralson & Miller, 2018; ISO, 2021; Zimmer et al., 2021).

Fundamento técnico

Continuidad y límites del razonamiento grafoscópico

La grafoscopia forense no se orienta a inferencias sobre personalidad ni a interpretaciones psicologizantes de la escritura, sino al análisis comparativo de hábitos gráficos con fines de atribución, exclusión o delimitación de autoría. En su formulación clásica, la disciplina se ha estructurado alrededor de tres operaciones intelectuales estrechamente relacionadas: análisis del material cuestionado y del material de cotejo, comparación de convergencias y divergencias relevantes, y evaluación del peso inferencial de los hallazgos observados (Ellen, 2005; Harralson & Miller, 2018; Hilton, 1982; Kelly & Lindblom, 2006; Osborn, 1929). Este núcleo metodológico conserva vigencia porque la escritura y la firma continúan siendo conductas neuromotoras complejas, relativamente estables, pero sujetas a variación natural.

Precisamente por ello, la expectativa de identidad absoluta entre firmas genuinas resulta metodológicamente incorrecta. El examen pericial serio no parte de la repetición mecánica del signo, sino de la coexistencia entre persistencia de hábitos y variabilidad intraescritor. De ahí que la suficiencia del material indubitado siga siendo una condición central del análisis: no basta con contar con muestras



de comparación, sino que estas deben ser suficientes en cantidad, próximas en el tiempo, espontáneas y razonablemente comparables en sus condiciones de producción (Harralson & Miller, 2018; Hilton, 1982; Kelly & Lindblom, 2006). La literatura contemporánea sobre confiabilidad y error refuerza esta exigencia. Por ejemplo, Hicklin et al. mostraron que el rendimiento de los examinadores depende no solo del entrenamiento, sino también del diseño de la tarea, de la calidad del material y del tratamiento de las respuestas concluyentes e inconcluyentes. En la misma línea, Crot y Marquis advirtieron que las tasas de error no deben interpretarse como cifras universales y estables, ya que varían según el tipo de estudio, la escala de respuesta, la dificultad del caso y el modo en que se clasifican los resultados inconclusos (Crot & Marquis, 2024; Hicklin et al., 2022).

Estas consideraciones adquieren especial importancia en contextos digitales o híbridos. Cuando el examen recae sobre impresiones de archivos electrónicos, copias digitalizadas, capturas de pantalla o firmas exportadas desde plataformas de captura, parte de la información potencialmente relevante puede haberse transformado o perdido antes del análisis. En tales condiciones, la responsabilidad pericial no consiste únicamente en identificar semejanzas visibles, sino en determinar qué rasgos siguen siendo observables, cuáles quedaron degradados por el soporte o el proceso de digitalización y qué hipótesis alternativas continúan siendo plausibles a la luz del material disponible (Casey, 2011; Harralson & Miller, 2018; Zimmer et al., 2021). Este desplazamiento obliga a que el dictamen se formule en términos de apoyo inferencial proporcional y no como simple afirmación categórica desligada de la calidad del objeto examinado.

La firma electrónica como objeto pericial plural

En el lenguaje jurídico, tecnológico y forense, la expresión firma electrónica suele emplearse como si designara un objeto homogéneo. Sin embargo, desde la perspectiva pericial, agrupa realidades material y funcionalmente distintas. Bajo esa denominación pueden encontrarse, entre otras, una firma autógrafa previamente escaneada e insertada como imagen en un documento electrónico, una firma capturada dinámicamente mediante dispositivos digitales con registro de coordenadas espaciales, presión y tiempo, o una firma electrónica avanzada vinculada a un certificado digital y a mecanismos de autenticación criptográfica (Casey, 2011; Jain et al., 2004; Zimmer et al., 2021).

Estas modalidades no conservan la misma información ni permiten el mismo tipo de inferencia; por ello, no admiten idéntico examen ni el mismo alcance conclusivo.

La bibliografía especializada sobre firmas capturadas digitalmente ha insistido en que el entorno técnico de adquisición no constituye un detalle accesorio, sino una condición analítica central. Zimmer et al. (2021) documentaron que diferentes combinaciones de hardware y software pueden alterar la estructura, resolución y escalado de los datos capturados, de modo que discrepancias aparentes entre firmas pueden derivar del sistema tecnológico utilizado y no necesariamente del firmante. En sentido convergente, otros trabajos han mostrado que variables como frecuencia de muestreo, calibración del canal de fuerza, superficie de captura y compatibilidad entre plataformas influyen directamente en la comparabilidad del registro dinámico. La consecuencia metodológica es clara: la suficiencia comparativa deja de ser solo gráfica y pasa a ser también tecnológica.

A esta complejidad debe añadirse una distinción jurídica que no siempre se formula con suficiente claridad. Una firma capturada dinámicamente puede ofrecer información muy rica sobre la ejecución —por ejemplo, trayectoria, velocidad relativa, presión y pausas— y, sin embargo, carecer de la infraestructura normativa propia de una firma electrónica avanzada. A la inversa, un documento autenticado mediante certificado digital puede cumplir exigencias legales de integridad y autenticación sin conservar ninguna traza biométrica útil para un examen grafoscópico comparativo. Desde el punto de vista pericial, estas realidades no se excluyen entre sí, sino que responden a preguntas distintas: una favorece el análisis del gesto gráfico y de la autoría material; la otra fortalece la integridad técnica, la autenticación formal y la trazabilidad documental (Casey, 2011; ISO, 2021; México, s. f.-a; México, s. f.-b; UNCITRAL, 1996/1998).

La pluralidad del objeto pericial se aprecia con particular claridad cuando se comparan firmas escaneadas y firmas dinámicas. Las primeras conservan sobre todo configuración visual, proporción y apariencia geométrica del signo; las segundas, cuando el sistema lo permite, añaden información cinemática y biomecánica relevante, como presión, secuencia, pausas, aceleración relativa y continuidad temporal. Esta diferencia no es menor, porque modifica tanto la base observacional del examen como el alcance razonable del dictamen. Diversos estudios han mostrado que las firmas digitalmente capturadas no deben asumirse como simples equivalentes funcionales de la firma



manuscrita sobre papel, y que las firmas escaneadas o digitalmente reconstruidas pueden generar percepciones engañosas incluso para sus propios autores cuando se evalúan fuera de su contexto técnico de producción (Heckerroth et al., 2022; Kazmierczyk & Turner, 2021; Zimmer et al., 2021).

En consecuencia, una de las primeras obligaciones metodológicas del perito consiste en identificar con precisión qué tipo de objeto tiene ante sí. Antes de comparar, debe determinar si se enfrenta a un original físico, a una imagen escaneada, a un registro dinámico de firma o a un documento autenticado electrónicamente mediante infraestructura criptográfica. Esa clasificación inicial no es una formalidad descriptiva: condiciona las variables observables, delimita la suficiencia comparativa, define los riesgos de sobreinterpretación y determina qué preguntas pueden responderse con legitimidad técnica. Solo a partir de esa identificación es posible construir un examen proporcional al objeto y evitar que categorías jurídicas, gráficas y tecnológicas se confundan indebidamente en una misma conclusión pericial.

Evidencia digital, factores humanos y reporte evaluativo

Cuando la firma forma parte de un documento electrónico, su examen ya no depende únicamente de la morfología del trazo, sino también de la integridad del archivo, de la disponibilidad de metadatos relevantes, de su historia técnica y del modo en que el documento fue identificado, adquirido, preservado y presentado para análisis. En este contexto, la evidencia digital deja de ser un componente periférico y se convierte en una dimensión constitutiva del problema pericial. La norma ISO/IEC 27037 subraya precisamente que la identificación, recolección, adquisición y preservación de evidencia digital deben realizarse mediante procedimientos aceptables, documentados y reproducibles, porque la solidez del análisis depende tanto de la integridad del objeto examinado como de la validez del proceso seguido para examinarlo (International Organization for Standardization [ISO], 2021). En términos prácticos, ello implica que una firma cuestionada puede perder gran parte de su valor comparativo si el archivo original no fue preservado, si la cadena de custodia digital es deficiente o si los metadatos técnicamente relevantes no están disponibles o no pueden verificarse de manera independiente.

A esta dimensión técnico-documental se añade el problema de los factores humanos. La investigación contemporánea en forensic handwriting examination ha mostrado que el rendimiento del perito no depende exclusivamente de su experiencia individual, sino también del diseño del procedimiento, del control de información contextual irrelevante, de la calidad del material, de la secuencia de observación



y de la forma en que se documenta el razonamiento pericial. El informe del Expert Working Group for Human Factors in Handwriting Examination del National Institute of Standards and Technology (NIST) insistió en que la calidad del examen no puede reducirse a la intuición experta, sino que requiere procedimientos que minimicen sesgos cognitivos, limiten la contaminación contextual y hagan visible el razonamiento seguido por el examinador (Expert Working Group for Human Factors in Handwriting Examination, 2021). Esta observación adquiere particular importancia en firmas híbridas, donde un objeto visualmente persuasivo puede ser técnicamente insuficiente, o donde un archivo formalmente íntegro puede no resolver por sí solo una controversia sobre autoría material.

Esta línea converge con la tradición de evaluative reporting impulsada por la European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI), que propone informes más transparentes, equilibrados y explícitos en cuanto al peso, alcance y limitaciones de los hallazgos. Desde esta perspectiva, el dictamen no debe presentar las observaciones como si hablaran por sí mismas, sino explicar qué apoyan, con qué fuerza relativa lo hacen, qué alternativas permanecen plausibles y qué restricciones impone el estado del material examinado (ENFSI, 2015). En otras palabras, la prudencia inferencial no constituye un gesto de debilidad argumentativa, sino una exigencia metodológica de buena práctica forense. Cuanto más heterogéneo es el objeto —por ejemplo, cuando combina imagen, registro dinámico e infraestructura digital de autenticación—, mayor es la necesidad de que el informe exprese con claridad qué parte de la conclusión descansa en el análisis gráfico, cuál en la información técnica del archivo y cuál en la convergencia entre ambas.

MATERIALES Y MÉTODO

Diseño y pregunta de revisión

El presente estudio se desarrolló como una revisión estructurada de alcance, con orientación técnico-crítica, destinada a integrar literatura doctrinal, estudios empíricos, lineamientos técnicos, estándares y fuentes normativas directamente vinculadas con el examen forense de firmas en entornos documentales híbridos. Este diseño resultó adecuado para el objeto de estudio porque el campo articula materiales de distinta naturaleza —monografías fundacionales, publicaciones científicas, documentos institucionales, normas técnicas y disposiciones jurídicas— que no suelen recuperarse de manera homogénea mediante una sola base de datos ni admiten una síntesis cuantitativa en sentido estricto.



En consecuencia, el trabajo no se planteó como una revisión sistemática cerrada ni como un metaanálisis. En cambio, adoptó una lógica de búsqueda, selección y reporte explícito inspirada en los principios de transparencia recomendados para revisiones de alcance. En particular, se incorporaron los siguientes componentes: formulación de una pregunta de revisión, definición de criterios de elegibilidad, identificación de fuentes documentales, descripción de la estrategia de búsqueda, depuración y selección de registros, y representación gráfica del flujo de inclusión. El propósito de esta decisión metodológica no fue presentar el estudio como más exhaustivo de lo que realmente es, sino hacer visible y verificable el proceso seguido para construir el corpus analítico.

La pregunta rectora de la revisión fue la siguiente: ¿qué variables conservan utilidad pericial en la comparación entre firmas manuscritas y firmas electrónicas y bajo qué condiciones deben articularse con documentoscopia y evidencia digital para producir conclusiones técnicamente defendibles?

A partir de esta pregunta, la revisión se orientó por tres objetivos operativos:

- a) identificar las variables gráficas, dinámicas, documentales y tecnológicas más relevantes para el examen comparativo de firmas en entornos híbridos;
- b) delimitar las principales condiciones de suficiencia comparativa y de integridad técnica del objeto pericial; y
- c) derivar, a partir de esa síntesis, un modelo metodológico de examen aplicable a controversias sobre firmas en contextos mixtos.

Debe precisarse que la selección y análisis de fuentes fueron realizados por un solo autor. Por ello, aunque el procedimiento fue documentado de manera explícita, la revisión conserva las limitaciones propias de los estudios de autor único, particularmente en lo relativo a decisiones de elegibilidad y síntesis interpretativa.

Fuentes consultadas y estrategia de búsqueda

La búsqueda documental estructurada se realizó el 18 de abril de 2026. Se consultaron fuentes académicas, institucionales y normativas consideradas pertinentes para el problema de investigación. En el plano académico se utilizaron PubMed y Crossref como vías principales de localización bibliográfica. En el plano técnico y normativo se revisaron documentos y repositorios institucionales del National Institute of Standards and Technology (NIST), la European Network of Forensic Science



Institutes (ENFSI), ASTM International, la International Organization for Standardization (ISO/IEC), la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión y la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI/UNCITRAL). De manera complementaria, se realizó búsqueda inversa a partir de obras semilla de alta relevancia para el campo, entre ellas Huber and Headrick's Handwriting Identification, el informe NIST sobre factores humanos en grafoscopía y literatura reciente sobre firmas capturadas digitalmente.

Con el fin de reflejar la heterogeneidad del objeto de estudio, la estrategia de búsqueda se organizó por tipo de fuente y no bajo una sola lógica uniforme. En las bases académicas se utilizaron descriptores en español e inglés, combinados de acuerdo con las posibilidades de cada motor de búsqueda. Entre los términos empleados se incluyeron: forensic handwriting examination, questioned documents, signature examination, digitally captured signatures, electronic signature, signature biometrics, digital evidence, human factors, evaluative reporting, grafoscopía, documentoscopia y firma electrónica. En las fuentes normativas e institucionales, la recuperación documental se realizó mediante búsqueda directa de estándares, guías, informes y disposiciones legales relacionadas con autenticidad documental, firma electrónica, evidencia digital y buenas prácticas periciales.

El proceso de selección se realizó en dos etapas. En la primera se eliminaron duplicados bibliográficos, versiones redundantes del mismo documento y registros manifiestamente ajenos al objeto del estudio. En la segunda se efectuó un cribado por pertinencia temática, excluyendo trabajos centrados exclusivamente en verificación automática sin discusión pericial, textos sin datos bibliográficos mínimos verificables y materiales jurídicos sin relación específica con firma electrónica, autenticidad documental o prueba digital. Solo después de ese doble filtro se procedió a la lectura completa de los documentos seleccionados del estudio.

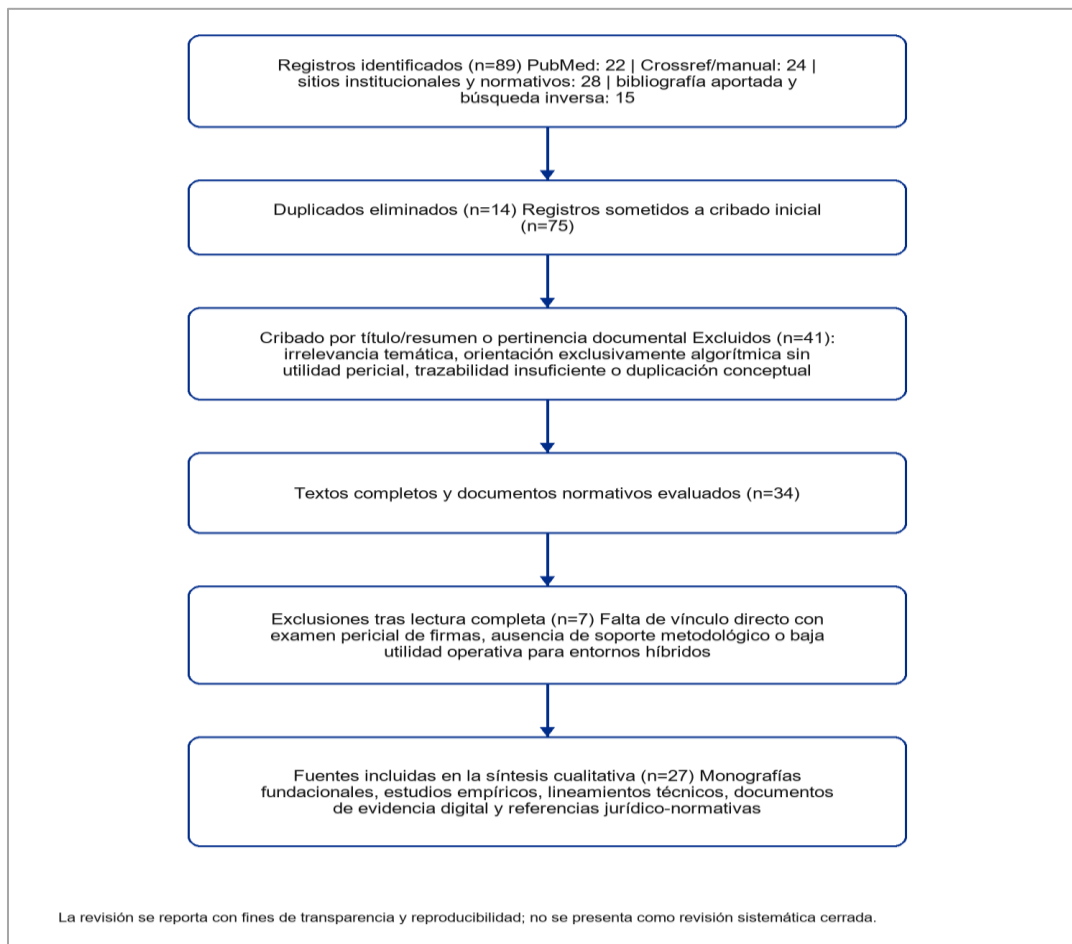
Esta decisión metodológica permite evitar una falsa homogeneidad entre literatura científica, estándares técnicos y fuentes normativas, aunque al mismo tiempo introduce límites de cobertura que deben ser reconocidos explícitamente.



Tabla 1 Estrategia de búsqueda y procedencia del corpus documental.

Fuente	Estrategia principal	Registros identificados	Utilidad
PubMed	Búsqueda por combinaciones de términos relacionados con escritura forense, firmas, documentos cuestionados, biometría, evidencia digital y factores humanos	22	Localización de estudios empíricos y revisiones sobre exactitud, error, sesgo, firmas capturadas digitalmente y biometría de firma
Crossref y búsqueda manual por título/DOI	Recuperación dirigida de artículos recientes, documentos metodológicos y referencias verificables por identificador persistente	24	Incorporación de literatura reciente sobre firmas digitales, reporte evaluativo, metodología de revisión y propuestas comparables
Sitios institucionales y normativos	Revisión directa de documentos del National Institute of Standards and Technology (NIST), European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI), ASTM International, International Organization for Standardization (ISO/IEC), Cámara de Diputados y CNUDMI/UNCITRAL	28	Obtención de lineamientos técnicos, estándares, marcos normativos y documentos de referencia institucional con relevancia pericial
Bibliografía de obras semilla y búsqueda inversa	Lectura de referencias contenidas en textos fundacionales y documentos clave del campo	15	Recuperación de monografías clásicas, literatura doctrinal de alta relevancia y materiales complementarios con valor estructural para el razonamiento pericial

Figura 1. Flujo de identificación, depuración, elegibilidad e inclusión documental para la presente revisión estructurada.



Criterios de inclusión, exclusión y sesgos previsible

Se incluyeron documentos que cumplieran al menos una de las siguientes condiciones:

- a) desarrollar fundamentos clásicos o contemporáneos del examen forense de escritura y firmas;
- b) abordar de manera directa el análisis de documentos cuestionados, la comparación de firmas o la grafoscopía forense;
- c) examinar firmas capturadas digitalmente, biometría de firma, comparabilidad entre plataformas o variables dinámicas de ejecución;
- d) tratar identificación, adquisición, preservación o valoración de evidencia digital con relevancia para el examen documental; y
- e) aportar referentes jurídico-normativos necesarios para contextualizar la firma electrónica y la prueba documental en el ámbito mexicano, con apoyo comparativo internacional cuando resultó pertinente.

Para la literatura contemporánea se privilegió el periodo 2000–2026, dado que en ese intervalo se concentra buena parte de los desarrollos sobre biometría de firma, evidencia digital, factores humanos y autenticación electrónica. No obstante, se incorporaron textos clásicos sin restricción temporal cuando conservaron valor estructural para el razonamiento pericial, especialmente en grafoscopía y documentoscopia. Esta decisión respondió a la naturaleza mixta del campo, en el que coexisten obras fundacionales todavía vigentes con desarrollos técnicos recientes.

Se excluyeron materiales de divulgación general, documentos sin trazabilidad bibliográfica suficiente, desarrollos exclusivamente algorítmicos sin conexión explícita con la práctica pericial, publicaciones reiterativas sin aporte metodológico discernible y referencias cuyos datos mínimos no pudieron verificarse razonablemente. También se descartaron trabajos cuya pertinencia dependía de sistemas de escritura, contextos lingüísticos o problemas documentales ajenos al alcance declarado de la revisión. Este criterio no implicó desconocer su posible valor científico intrínseco, sino delimitar el corpus conforme al objeto específico del estudio.

Dado el carácter del diseño, se reconocieron desde el inicio varios sesgos previsible. El primero fue un sesgo de idioma, ya que solo se integraron fuentes en español e inglés.

El segundo fue un sesgo de disponibilidad e indización, porque parte de la literatura relevante del campo circula en monografías, guías técnicas, informes institucionales o normas que no se encuentran homogéneamente indexados en bases académicas. El tercero fue un sesgo jurisdiccional, derivado de que el análisis normativo se centró en el contexto mexicano, con apoyo comparativo limitado a instrumentos internacionales y referentes externos útiles para la discusión metodológica.

Construcción de la matriz conceptual y uso del ejemplo ilustrativo

Una vez delimitado el corpus final, se elaboró una matriz conceptual de variables periciales con el fin de organizar la información de manera comparable y analíticamente útil. La matriz no fue concebida como instrumento estadístico, sistema de puntuación automática ni mecanismo de validación empírica, sino como un recurso de sistematización técnica para ordenar variables relevantes del examen comparativo de firmas en entornos híbridos. Su función principal fue traducir el contenido heterogéneo de las fuentes revisadas a un esquema analítico común que permitiera identificar qué variables resultan más informativas, bajo qué condiciones pueden observarse y qué limitaciones acompañan su uso inferencial.

Cada variable fue descrita mediante los siguientes campos: plano analítico, definición operativa, requisito mínimo de observación, peso inferencial cualitativo, limitaciones o sesgos principales y fuente de respaldo. Esta estructura buscó evitar dos extremos metodológicamente problemáticos: por un lado, la simple enumeración de rasgos sin jerarquización analítica; por otro, la ilusión de objetividad cuantitativa allí donde la literatura disponible no justifica una escala métrica uniforme.

El peso inferencial se clasificó de manera cualitativa como alto, medio o condicionante, con un criterio deliberadamente conservador. Se asignó un peso alto a las variables que la literatura reconoce como directamente informativas para la comparación o para la delimitación del alcance del dictamen, siempre que existan condiciones adecuadas de observación. Se consideró medio cuando la variable conserva utilidad analítica, pero su interpretación depende de manera importante del soporte, de la calidad del registro o de la comparabilidad técnica. Finalmente, se utilizó la categoría condicionante para variables que no individualizan por sí mismas, pero determinan si otras pueden ser interpretadas con suficiente seguridad metodológica.



Esta clasificación no pretende sustituir el juicio experto, sino hacer más explícita la lógica con la que ciertas condiciones del objeto examinado fortalecen, limitan o incluso impiden una conclusión pericial robusta.

Con el propósito de mostrar la aplicabilidad del modelo sin simular una validación experimental inexistente, se incorporó un ejemplo ilustrativo de carácter didáctico. Su función no es demostrar desempeño, estimar precisión ni reemplazar un estudio de caso real, sino exponer cómo varía la ruta analítica cuando el objeto cuestionado corresponde, por ejemplo, a una firma insertada como imagen frente a una firma capturada dinámicamente. El ejemplo permite visualizar de qué manera cambian las variables observables, la suficiencia comparativa y el alcance razonable del dictamen según el tipo de objeto pericial disponible.

RESULTADOS

Configuración del corpus y hallazgos centrales

Tras el proceso de identificación, depuración y selección documental, se integraron 27 fuentes al corpus final de análisis. El conjunto quedó conformado por cinco monografías fundacionales, siete estudios empíricos o de revisión centrados en exactitud, error, sesgo o firmas capturadas digitalmente, cinco lineamientos técnicos o estándares, cuatro referencias sobre biometría de firma y captura dinámica, y seis fuentes jurídico-normativas o de reporte metodológico. Esta composición respondió a un criterio de equilibrio analítico: evitar tanto una bibliografía exclusivamente clásica como una selección dominada por desarrollos algorítmicos con escasa traducción práctica para el examen pericial.

El análisis del corpus permitió identificar una convergencia relevante entre tradiciones bibliográficas que, aunque operan en planos distintos, resultan complementarias para el problema estudiado. Las obras fundacionales organizan la lógica comparativa del examen de firmas; los estudios empíricos aportan evidencia sobre variación, error, desempeño y efectos del soporte; los lineamientos técnicos introducen exigencias de preservación, integridad y control procedimental; y las fuentes normativas delimitan el marco jurídico dentro del cual una firma puede producir consecuencias probatorias y documentales. El valor del corpus radicó, por tanto, en permitir el diálogo entre esas capas sin confundir sus funciones analíticas.



De la síntesis realizada se desprendieron cuatro hallazgos principales. En primer lugar, que la expresión firma electrónica no designa un objeto pericial único, sino un conjunto de modalidades técnica y funcionalmente distintas. En segundo lugar, que los criterios grafoscópicos clásicos conservan relevancia, pero dejan de ser autosuficientes cuando el objeto examinado ha sido digitalizado, capturado dinámicamente o autenticado mediante infraestructura electrónica. En tercer lugar, que la suficiencia comparativa ya no puede evaluarse solo en términos gráficos, sino también en función de la compatibilidad tecnológica, la disponibilidad de metadatos y la preservación del dato. En cuarto lugar, que la calidad del dictamen depende de controles procedimentales capaces de reducir sesgos, hacer explícitas las limitaciones del material y ajustar el alcance de la inferencia al soporte real del caso (Crot & Marquis, 2024; ENFSI, 2015; Expert Working Group for Human Factors in Handwriting Examination, 2021; Hicklin et al., 2022; ISO, 2021; Zimmer et al., 2021).

Matriz conceptual de variables periciales

La Tabla 2 presenta la matriz conceptual construida a partir del corpus final. Su utilidad principal consiste en distinguir entre variables pertenecientes a distintos planos analíticos: variables gráfico-visuales, variables dinámicas dependientes de la conservación de datos de captura y variables tecnológicas o documentales cuya relevancia depende de la arquitectura del archivo, del sistema de adquisición o de la forma en que el documento fue preservado. Esta diferenciación resulta metodológicamente importante porque evita que todas las observaciones sean tratadas como si tuvieran el mismo peso inferencial o la misma función dentro del examen pericial.

La matriz mostró, además, que algunas variables actúan como condicionantes analíticas. Tal es el caso de la compatibilidad entre hardware y software, de la integridad del archivo o de la disponibilidad de metadatos pertinentes. Estas variables no sustituyen la comparación morfológica, pero sí determinan si dicha comparación puede sostenerse sin sobreinterpretación. En otras palabras, la utilidad de ciertos rasgos gráficos depende no solo de su visibilidad aparente, sino del contexto técnico que permite afirmar que el signo examinado conserva suficiente fidelidad respecto de su proceso de producción o almacenamiento (Casey, 2011; ISO, 2021; Zimmer et al., 2021).

La matriz también permitió precisar qué variables suelen generar errores interpretativos recurrentes cuando se las extrapola más allá de las condiciones en que realmente son observables.

Entre ellas destacan la presión, el ritmo y otros atributos dinámicos cuando se infieren a partir de imágenes planas o de firmas escaneadas que no preservan información cinemática. De manera análoga, el análisis mostró que los metadatos pueden ser técnicamente relevantes para la autenticidad documental, pero no deben ser tratados como si poseyeran, por sí mismos, valor individualizante sobre la autoría gráfica. En sentido inverso, variables aparentemente modestas —como conocer la modalidad de captura, la plataforma utilizada o el tipo de archivo examinado— modifican de manera sustancial la interpretación del resto del material y condicionan el alcance razonable del dictamen.

Conviene subrayar que la matriz conceptual fue construida como un instrumento de sistematización analítica derivado de la literatura revisada y no como una herramienta de puntuación automática ni como una aplicación empírica sobre casos reales dentro del presente estudio. Su función es ordenar el razonamiento técnico, hacer visibles las condiciones de observación de cada variable y facilitar una lectura metodológicamente prudente del objeto pericial.

Tabla 2 Matriz conceptual de variables periciales relevantes para firmas híbridas.

Variable	Plano analítico	Definición operativa	Requisito mínimo de observación	Peso inferencial	Limitaciones principales	Referencias de apoyo
Morfología global	Gráfico-visual	Configuración general del signo, proporciones y diseño básico	Original o imagen con resolución suficiente	Medio	Escaneo, compresión, redimensionamiento	Ellen (2005); Kelly y Lindblom (2006); Heckerroth et al. (2022)
Calidad de línea y continuidad	Gráfico-visual	Regularidad, fluidez, interrupciones, temblores y hesitaciones	Original o captura de alta calidad	Alto	Copias, rasterización, impresión, baja resolución	Ellen (2005); Hicklin et al. (2022); Crot y Marquis (2024)
Inicios, terminaciones y enlaces	Gráfico-visual y	Ataques, remates, conexiones y secuencia aparente	Magnificación útil y preservación de detalle fino	Medio	Pérdida de detalle en imágenes planas o firmas insertadas	Hilton (1982); Kelly y Lindblom (2006); Heckerroth et al. (2022)
Presión y ritmo temporal	Dinámico	Variación de fuerza y duración relativa durante la ejecución	Registro dinámico calibrable	Alto	Inobservable en firmas escaneadas; dependiente del dispositivo	Zimmer et al. (2021); Kalantzis y Platt (2020); Jain et al. (2004)
Secuencia motriz	Dinámico	Orden de ejecución, trayectoria, pausas y cambios de velocidad	Registro fiable de coordenadas, tiempo y secuencia	Alto	Exportación, codificación o escalado del software	Zimmer et al. (2021); Jain et al. (2004); Faundez-Zanuy et al. (2020)

Metadatos	Tecnológico-documental	Fechas, software, versión, dispositivo e historial técnico del archivo	Archivo nativo o extracción documentada	Condicionante	Ausencia, pérdida o manipulación de datos	Casey (2011); ISO (2021); UNCITRAL (1996/1998)
Integridad archivo	del Tecnológico-documental	Coherencia técnica del archivo, validación de hash, sellos o certificados	Acceso al archivo original y medios de validación	Condicionante	Integridad técnica no equivale a autoría material	ISO (2021); Casey (2011); México (s. f.-a)
Compatibilidad hardware/software	Tecnológico-documental	Comparabilidad entre dispositivos, plataformas y parámetros de captura	Información técnica sobre el sistema empleado	Condicionante	El sistema puede simular diferencias del firmante	Zimmer et al. (2021); Kalantzis y Platt (2020)
Modalidad de captura y soporte	de Integrado	Tipo de objeto examinado: manuscrito, escaneado, insertado, dinámico o avanzado	Clasificación inicial correcta del objeto	Alto	Mezclar modalidades genera errores de análisis	Casey (2011); Zimmer et al. (2021); México (s. f.-a)
Suficiencia comparativa	Integrado	Cantidad, calidad y homogeneidad del material dubitado e indubitado	Estándares suficientes y comparables	Alto	Insuficiencia gráfica o tecnológica obliga a limitar la conclusión	Harralson y Miller (2018); Hicklin et al. (2022); Crot y Marquis (2024)

Aporte diferencial frente al Modular Forensic Handwriting Method

El trabajo de Bird, Jones y Ballantyne constituye un antecedente metodológico relevante para cualquier propuesta contemporánea sobre examen forense de escritura y firma, en la medida en que organiza el análisis a partir de decisiones progresivas, integra evidencia derivada de control motor y factores humanos, y promueve una lógica de evaluación explícita en lugar de afirmaciones periciales apoyadas únicamente en autoridad profesional. Su principal contribución radica en desplazar el examen de escritura desde un esquema implícito de comparación hacia un modelo más estructurado, trazable y analíticamente justificable.

La propuesta desarrollada en el presente trabajo coincide con ese enfoque en tres puntos esenciales. En primer lugar, en la necesidad de hacer visible la secuencia de decisiones periciales y no reducir el dictamen a una conclusión final sin ruta analítica explícita. En segundo lugar, en el reconocimiento de que la interpretación forense debe formularse dentro de límites inferenciales proporcionales a la calidad del material examinado. En tercer lugar, en la importancia de incorporar factores humanos y control del



sesgo como parte del razonamiento metodológico y no solo como advertencias generales de buena práctica (Bird et al., 2025; ENFSI, 2015; Expert Working Group for Human Factors in Handwriting Examination, 2021).

No obstante, el aporte específico del presente estudio se localiza en otro nivel del problema. Mientras el modelo modular australiano se orienta al examen general de escritura y firma dentro del campo del forensic handwriting examination, la propuesta aquí formulada se concentra de manera específica en firmas en entornos híbridos, es decir, en escenarios en los que el objeto cuestionado puede combinar imagen digitalizada, registro dinámico, archivo electrónico y validez documental formal. En ese contexto, el problema ya no consiste únicamente en comparar rasgos gráficos, sino en determinar qué tipo de objeto se está examinando, qué información conserva realmente, cuáles son sus restricciones técnicas y cómo deben articularse variables gráficas, documentales y tecnológicas para evitar inferencias excesivas.

Desde esta perspectiva, la propuesta añade tres capas metodológicas que no aparecen desarrolladas como eje central en Bird et al. (2025). La primera es la integración operativa entre grafoscopia, documentoscopia y preservación de evidencia digital desde la fase inicial del análisis, de modo que la clasificación del objeto, la integridad del archivo y la disponibilidad de metadatos no sean cuestiones periféricas sino condiciones de interpretabilidad. La segunda es la distinción analítica entre apariencia gráfica, dato dinámico y autenticidad técnica del archivo, lo que impide tratar como equivalentes fenómenos periciales que responden a preguntas distintas. La tercera es la traducción del problema a un marco jurídico-probatorio mexicano, donde la existencia de mecanismos legalmente reconocidos de firma electrónica no elimina por sí sola las controversias sobre autoría material, suplantación, reutilización del signo, regularidad del proceso de captura o suficiencia comparativa del material disponible (Casey, 2011; ISO, 2021; México, s. f.-a; México, s. f.-b; UNCITRAL, 1996/1998).

Modelo híbrido de examen por fases

La Figura 2 presenta el modelo híbrido de examen propuesto. Este se organiza en siete fases secuenciales con rutas laterales para escenarios de cumplimiento parcial, de manera que el procedimiento no dependa de la ficción de que todo caso ofrece siempre material completo, homogéneo y técnicamente verificable. La fase 1 corresponde a la clasificación del objeto cuestionado; la fase 2 a



su preservación y fijación; la fase 3 a la evaluación de suficiencia comparativa; la fase 4 al análisis morfológico; la fase 5 al análisis dinámico, cuando el sistema conserva datos de ejecución; la fase 6 al examen documentoscópico-digital del archivo y de su entorno técnico; y la fase 7 al reporte evaluativo. La utilidad principal del modelo no consiste en exigir que todas las fases se satisfagan siempre del mismo modo, sino en impedir que la ausencia de una condición metodológica relevante pase inadvertida o sea absorbida por una conclusión que aparente mayor solidez de la realmente disponible. Así, si no existe material indubitado tecnológicamente comparable, el examen no debe formular conclusiones con el mismo alcance que en un caso con estándar homogéneo. Si el archivo carece de metadatos verificables o no puede comprobarse su integridad técnica, esa limitación no debe quedar como un dato secundario, sino que tiene que modificar explícitamente el alcance de la inferencia. Del mismo modo, si el sistema no conserva datos dinámicos, la comparación puede seguir siendo posible, pero ya no bajo la lógica de una firma biométrica completa ni con idéntico valor discriminante (Casey, 2011; ISO, 2021; Zimmer et al., 2021).

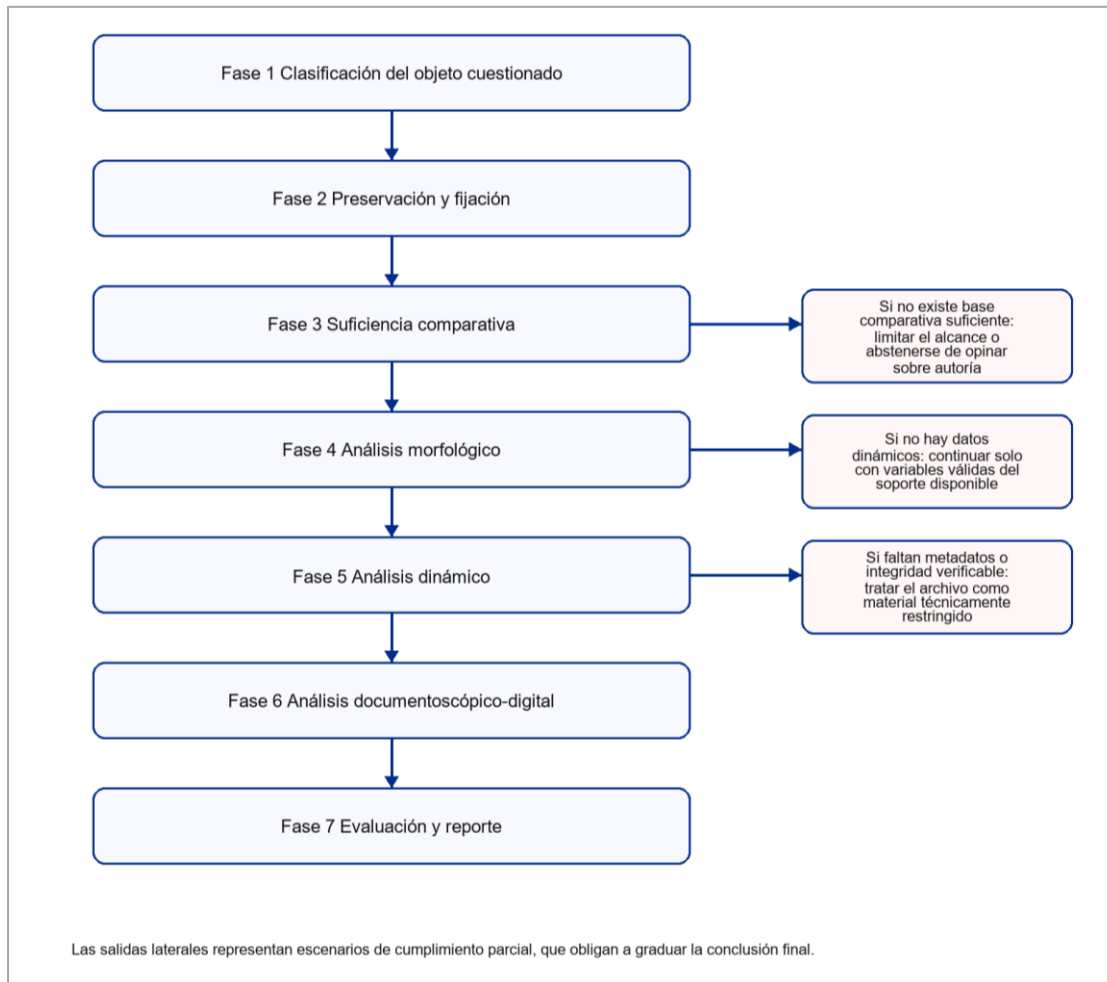
Las tres primeras fases cumplen una función de saneamiento metodológico. Clasificar correctamente el objeto cuestionado impide mezclar universos analíticos incompatibles, como una firma escaneada y una firma capturada dinámicamente. La preservación y fijación permiten verificar que el examen recaiga sobre un material técnicamente utilizable y no sobre un archivo ya degradado, alterado o insuficientemente documentado. La suficiencia comparativa, por su parte, obliga a considerar no solo la riqueza gráfica del material dubitado e indubitado, sino también su homogeneidad tecnológica y la posibilidad real de comparación. Sin estas tres etapas, los análisis posteriores pueden presentar un grado aparente de detalle que no corresponde a la calidad del soporte efectivamente disponible.

Las fases cuarta a séptima convierten esa base metodológica en una conclusión pericial probatoriamente utilizable. El análisis morfológico organiza la comparación visible de rasgos gráficos conservados. El análisis dinámico explora información de ejecución cuando el sistema permite recuperar presión, tiempo, pausas o secuencia motriz. El examen documentoscópico-digital revisa la coherencia técnica del archivo, su modalidad de generación, sus metadatos y sus condiciones de integridad. Finalmente, el reporte evaluativo articula todos estos hallazgos en una conclusión proporcional al soporte real del caso.



Esta fase final no debe entenderse como una simple redacción del dictamen, sino como el momento en que se determina qué puede afirmarse con respaldo suficiente, qué debe formularse de manera condicionada y qué aspectos deben permanecer expresamente abiertos o inconclusos.

Figura 2. Secuencia operativa del modelo híbrido con salidas laterales para escenarios de cumplimiento parcial.



Ejemplo didáctico de aplicación

La Tabla 3 presenta dos escenarios frecuentes de examen pericial en entornos documentales híbridos. Su finalidad no es sustituir un estudio de caso real ni ofrecer evidencia de validación empírica, sino mostrar cómo varía la ruta metodológica del análisis según el tipo de objeto cuestionado y la información efectivamente disponible. En ambos escenarios, el punto de partida no consiste en decidir si la firma es “electrónica” en abstracto, sino en determinar qué clase de objeto se examina, qué condiciones técnicas de observación se encuentran satisfechas y qué alcance inferencial resulta metodológicamente defendible.

En el escenario A, la firma aparece como imagen insertada en un archivo en formato Portable Document Format (PDF), sin disponibilidad del archivo fuente ni de datos dinámicos de captura. En estas condiciones, el examen se desplaza hacia la morfología preservada, la posible detección de inserciones o ensamblajes documentales y la explicitación de límites técnicos del soporte. En el escenario B, la firma proviene de una tableta digitalizadora y se dispone de un archivo nativo con coordenadas espaciales, presión y tiempo, además de información documentada sobre dispositivo y software. Aquí el repertorio analítico se amplía de manera sustancial, pero sigue condicionado por la calidad del registro, la calibración del sistema, la interoperabilidad entre plataformas y la adecuada preservación técnica del archivo (Casey, 2011; ISO, 2021; Zimmer et al., 2021).

Tabla 3 Ejemplo didáctico no experimental de aplicación del modelo híbrido

Escenario	Material disponible	Fases con cumplimiento parcial	Riesgo principal	Salida metodológica esperable
A. Firma insertada como imagen en archivo PDF	Archivo PDF en ausencia de metadatos incompletos; datos dinámicos; firmas comparación en escaneadas	final; Fase 2 (preservación) limitada; Fase 5 no aplicable; sin Fase 6 restringida por falta de archivo nativo en papel	Confundir semejanza con autoría por alto inserción posterior, ensamble o reutilización del signo	Conclusión restringida: análisis morfológico y documental por documentoscópico de indicios de inserción o inconsistencia técnica; imposibilidad de atribuir con la misma fuerza que ante original físico o registro dinámico completo
B. Firma capturada dinámicamente en tableta	Archivo nativo en coordenadas, presión y tiempo; datos de dispositivo y software; estándares comparables obtenidos con la misma solución tecnológica	Fase 3 condicionada por comparabilidad técnica; Fase 6 dependiente de preservación, exportación y calibración, del entorno de captura	Atribuir al firmante diferencias producidas de frecuencia de muestreo incompatibilidad entre plataformas	Conclusión integrada y de mayor alcance: análisis morfológico, dinámico y técnico-documental de convergente; mejor base o para graduar apoyo a una hipótesis de autoría, siempre con explicitación de límites tecnológicos y de preservación

DISCUSIÓN

Alcance y utilidad del modelo propuesto

El principal valor del modelo propuesto no reside en ofrecer una solución universal para toda controversia sobre firmas, sino en proporcionar una arquitectura analítica explícita para un campo en el que con frecuencia confluyen objetos periciales distintos bajo una misma denominación.

Su aporte central consiste en articular, dentro de una misma secuencia metodológica, elementos que en la práctica suelen aparecer separados o insuficientemente integrados: la tradición comparativa de la grafoscopia, la dimensión material y documental propia de la documentoscopia, y las exigencias de integridad, preservación y trazabilidad propias de la evidencia digital. En este sentido, el modelo conserva componentes valiosos de la tradición clásica —variación natural, comparación estructurada y suficiencia de estándares—, pero los reubica dentro de un entorno donde el soporte, la modalidad de captura y las condiciones técnicas del archivo influyen directamente en la interpretabilidad del signo (Casey, 2011; Crot & Marquis, 2024; Expert Working Group for Human Factors in Handwriting Examination, 2021; Harralson & Miller, 2018; ISO, 2021; Zimmer et al., 2021).

Esta articulación tiene una utilidad metodológica específica: reduce el riesgo de tratar como homogéneos objetos que no lo son. Una firma escaneada, una firma insertada como imagen, un registro dinámico de firma y un documento autenticado mediante certificado digital pueden compartir apariencia funcional dentro de un expediente, pero no conservan la misma información ni permiten el mismo tipo de inferencia. El modelo propuesto obliga a clasificar el objeto antes de compararlo y, con ello, desplaza la atención desde la mera similitud visual hacia la pregunta metodológicamente más relevante: qué información está realmente disponible, bajo qué condiciones puede interpretarse y qué alcance probatorio puede sostenerse con ese nivel de observación.

Desde esa perspectiva, el modelo también favorece formas más controlables de revisión pericial y de contradicción judicial. Una secuencia explícita obliga a documentar por qué una ruta analítica pudo activarse, por qué otra quedó limitada y en qué punto una determinada variable dejó de ser interpretable. En disciplinas donde parte del razonamiento experto permanece tácito o se comunica de forma abreviada, volver visible la arquitectura de decisión constituye por sí mismo un avance metodológico. La transparencia no se obtiene por la sola formulación prudente de la conclusión, sino por la posibilidad de reconstruir qué condiciones del objeto examinado permitieron, restringieron o impidieron ciertos niveles de inferencia.

Implicaciones para la práctica pericial mexicana

Para la práctica pericial mexicana, los resultados de la revisión sugieren al menos tres implicaciones principales. La primera es formativa. Quien examine firmas híbridas ya no puede limitar su competencia



a la comparación de rasgos visibles, sino que necesita manejar nociones básicas de documentoscopia digital, preservación de archivos, metadatos y condiciones de captura. Esto no significa convertir al grafoscopista en perito informático, sino reconocer que el examen contemporáneo de firmas puede requerir competencias cruzadas entre grafoscopia, documentoscopia y evidencia digital.

La segunda implicación es procedimental. En muchos expedientes, la debilidad del examen no proviene de la inexistencia de criterios comparativos, sino de la forma en que el material llega al perito. Recibir una impresión de un archivo PDF, una captura de pantalla o un documento exportado sin archivo fuente ni datos técnicos equivalentes no produce el mismo problema analítico que recibir un archivo nativo preservado, con metadatos verificables y estándares comparables obtenidos bajo condiciones semejantes. Por ello, laboratorios y peritos deberían documentar con mayor rigor la modalidad de recepción del archivo, la existencia o ausencia de metadatos relevantes, la herramienta empleada para su validación, el tipo de soporte disponible y las restricciones observadas desde el inicio del análisis. En este punto, la calidad del examen depende tanto de la comparación como de la forma en que el objeto fue recibido y conservado.

La tercera implicación es comunicativa y probatoria. El dictamen debe distinguir con claridad si respalda una conclusión sobre semejanza morfológica, sobre regularidad técnica del archivo o sobre la convergencia entre ambas dimensiones. Esta distinción es especialmente importante en el contexto mexicano, donde la normativa reconoce eficacia jurídica a determinadas formas de firma electrónica, pero ese reconocimiento no elimina automáticamente las preguntas periciales sobre autoría material, suplantación, reutilización de imágenes de firma, alteración documental o insuficiencia comparativa del material disponible. En controversias de esta naturaleza, el valor del dictamen depende en buena medida de que el perito explique qué nivel de autenticidad fue realmente examinado y cuáles preguntas exceden el soporte efectivamente disponible.

Limitaciones

El presente trabajo tiene limitaciones expresas que deben mantenerse visibles. En primer lugar, no constituye una validación experimental del modelo ni calcula tasas de error propias. En segundo lugar, no sustituye estudios controlados sobre desempeño interexaminador, comparabilidad entre plataformas o estabilidad de variables dinámicas en condiciones experimentales. Su fortaleza se encuentra en otro



nivel: la integración crítica de literatura dispersa y la formulación de una arquitectura metodológica coherente con el problema pericial de las firmas híbridas. En esa medida, sus conclusiones deben leerse como una propuesta de sistematización analítica y no como demostración empírica cerrada.

En segundo término, la estrategia de búsqueda, aunque explícita y reproducible en lo esencial, permaneció condicionada por idioma, accesibilidad documental y heterogeneidad de fuentes. La combinación de monografías clásicas, estudios empíricos, documentos técnicos, estándares e instrumentos normativos responde a la naturaleza del campo, pero también limita la posibilidad de una síntesis homogénea en sentido cuantitativo. Del mismo modo, al tratarse de una revisión realizada por un solo autor, el proceso de selección y síntesis conserva las restricciones propias de los estudios de autor único, incluso cuando sus criterios hayan sido documentados de manera explícita.

El ejemplo incorporado para ilustrar el funcionamiento del modelo debe entenderse dentro de esos mismos límites. Su función es expositiva, no probatoria. No constituye un caso resuelto, no demuestra superioridad empírica del modelo y no reemplaza estudios diseñados para medir desempeño o exactitud. Su utilidad consiste en mostrar, de manera simplificada, cómo cambia la ruta analítica cuando el objeto examinado conserva solo apariencia visual frente a cuando mantiene también registro dinámico e información técnica verificable. Mantener clara esta distinción es importante para no convertir una propuesta de buena práctica en una afirmación de certeza mayor que su base real.

CONCLUSIONES

La revisión realizada permite sostener cuatro conclusiones principales. En primer lugar, la expresión *firma electrónica* no designa un objeto pericial homogéneo, sino un conjunto de modalidades técnica y funcionalmente distintas. Antes de iniciar cualquier comparación, el perito debe establecer si examina un original físico, una imagen escaneada, una firma insertada en un archivo electrónico, un registro dinámico de firma o un documento autenticado mediante infraestructura criptográfica. Esta clasificación inicial no constituye una formalidad descriptiva, sino una condición de posibilidad del análisis, porque de ella dependen las variables observables, la suficiencia comparativa y el alcance legítimo de la inferencia.

En segundo lugar, los criterios grafoscópicos clásicos continúan siendo indispensables, pero ya no son autosuficientes cuando la firma está mediada por procesos de digitalización, captura electrónica o



autenticación técnica del archivo. La comparación morfológica conserva valor, pero debe integrarse con información sobre preservación, integridad, metadatos, modalidad de captura y compatibilidad tecnológica. En este contexto, la suficiencia comparativa no puede definirse solo en términos gráficos, sino también en términos documentales y técnicos.

En tercer lugar, el peso probatorio del dictamen no depende exclusivamente de la capacidad observacional del examinador, sino de la forma en que se documenta la ruta analítica, se controlan los sesgos y se explicitan las restricciones del material examinado. Un dictamen metodológicamente prudente no es un dictamen debilitado; es un dictamen más inteligible, más verificable y más compatible con una valoración racional de la prueba. En asuntos donde convergen autoría gráfica, archivo digital y autenticación electrónica, la claridad sobre lo que puede y no puede concluirse forma parte de la calidad pericial misma.

En cuarto lugar, el modelo híbrido propuesto ofrece una vía operativa para ordenar el examen de firmas manuscritas y electrónicas en contextos judiciales contemporáneos. Su utilidad principal no consiste en reemplazar la investigación experimental futura ni en prometer una solución universal para todos los casos, sino en ofrecer una secuencia de trabajo analíticamente explícita para un problema cuya frecuencia probablemente aumentará con la digitalización de contratos, expedientes y actos procesales. Allí donde la firma deja de ser solo un trazo y pasa a ser también archivo, registro dinámico o acto autenticado, la grafoscopia forense necesita articularse con la documentoscopia y con la evidencia digital si quiere conservar utilidad probatoria real.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bird, C., Jones, K., & Ballantyne, K. (2025). An introduction to the modular forensic handwriting method. *WIREs Forensic Science*, 7(1), e1538. <https://doi.org/10.1002/wfs2.1538>
- Casey, E. (2011). *Digital evidence and computer crime* (3rd ed.). Academic Press.
- Crot, S., & Marquis, R. (2024). A comparative review of error rates in forensic handwriting examination. *Journal of Forensic Sciences*, 69(6), 2127–2138. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15589>
- Ellen, D. (2005). *Scientific examination of documents: Methods and techniques* (3rd ed.). CRC Press.
- European Network of Forensic Science Institutes. (2015). ENFSI guideline for evaluative reporting in



- forensic science (Version 3.0). https://enfsi.eu/wp-content/uploads/2016/09/m1_guideline.pdf
- European Network of Forensic Science Institutes. (2022). Best practice manual for the forensic handwriting examination (4th ed.). <https://enfsi.eu/wp-content/uploads/2022/11/BPM-Handwriting-Ed.-4.pdf>
- Expert Working Group for Human Factors in Handwriting Examination. (2021). Forensic handwriting examination and human factors: Improving the practice through a systems approach (NIST IR 8282r1). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8282r1>
- Faundez-Zanuy, M., Fierrez, J., Ferrer, M. A., Diaz, M., Tolosana, R., & Plamondon, R. (2020). Handwriting biometrics: Applications and future trends in e-security and e-health. *Cognitive Computation*, 12(5), 940–953. <https://doi.org/10.1007/s12559-020-09755-z>
- Found, B., & Rogers, D. (2008). The probative character of forensic handwriting examiners' identification and elimination opinions on questioned signatures. *Forensic Science International*, 178(1), 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.01.016>
- Geistová Čakovská, B., Kalantzis, N., Dziedzic, T., Fernandes, C., Zimmer, J., & Branco, M. J. (2021). Recommendations for capturing signatures digitally to optimize their suitability for forensic handwriting examination. *Journal of Forensic Sciences*, 66(2), 743–747. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14627>
- Harralson, H. H., & Miller, L. S. (2018). Huber and Headrick's handwriting identification: Facts and fundamentals (2nd ed.). CRC Press.
- Heckerth, J., Kupferschmid, E., Dziedzic, T., Kalantzis, N., Čakovská, B. G., Fernandes, C., et al. (2021). Features of digitally captured signatures vs. pen and paper signatures: Similar or completely different? *Forensic Science International*, 318, 110587. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110587>
- Hicklin, R. A., Eisenhart, L., Richetelli, N., Miller, M. D., Belcastro, P., Burkes, T. M., et al. (2022). Accuracy and reliability of forensic handwriting comparisons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(32), Article e2119944119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2119944119>



- Hilton, O. (1982). *Scientific examination of questioned documents* (Rev. ed.). CRC Press.
- Impedovo, D., & Pirlo, G. (2008). Automatic signature verification: The state of the art. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 38(5), 609–635. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2008.923866>
- International Organization for Standardization. (2012). ISO/IEC 27037:2012. Guidelines for identification, collection, acquisition and preservation of digital evidence. <https://www.iso.org/standard/44381.html>
- Jain, A. K., Ross, A., & Prabhakar, S. (2004). An introduction to biometric recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14(1), 4–20. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2003.818349>
- Kalantzis, N., & Platt, A. W. G. (2022). Digitally captured signatures: A method for the normalization of force through calibration and the use of the zeta function. *Journal of Forensic Sciences*, 67(2), 651–668. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14927>
- Kazmierczyk, Z., & Turner, I. J. (2022). Self-identification of electronically scanned signatures (ESS) and digitally constructed signatures (DCS). *Forensic Sciences Research*, 7(2), 261–264. <https://doi.org/10.1080/20961790.2021.1923167>
- Kelly, J. S., & Lindblom, B. S. (2006). *Scientific examination of questioned documents* (2nd ed.). CRC Press.
- México. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2012, 11 de enero). Ley de Firma Electrónica Avanzada. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFEA.pdf>
- México. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (s. f.). Código de Comercio. Recuperado el 18 de abril de 2026, de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Codigo_de_Comercio.pdf
- Osborn, A. S. (1929). *Questioned documents* (2nd ed.). Boyd Printing.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). Updating guidance for reporting systematic reviews: Development of the PRISMA 2020 statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134, 103–112.



<https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003>

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., et al. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467–473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>

United Nations Commission on International Trade Law. (1999). UNCITRAL model law on electronic commerce with guide to enactment 1996, with additional article 5 bis as adopted in 1998. United Nations. https://uncitral.un.org/en/texts/ecommerce/modellaw/electronic_commerce

Zimmer, J., Kalantzis, N., Dziedzic, T., Heckerroth, J., Kupferschmid, E., Fernandes, C., et al. (2021). The challenge of comparing digitally captured signatures registered with different software and hardware. *Forensic Science International*, 327, 110945. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110945>

