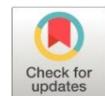


Avances en identificación genética y análisis de perfiles de ADN en biología forense

Advances in genetic identification and DNA profile analysis in forensic biology

- ¹ Eliana del Consuelo de la Torre Núñez  <https://orcid.org/0000-0001-8458-6632>
Licenciada en Laboratorio Clínico e Histopatológico, Ingeniera Ambiental, Diploma Superior en Docencia en Ciencias de la Salud, Maestrante Posgrado en Criminalística y Ciencias Forenses, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
edelatorre@unach.edu.ec
- ² Francisco Javier Ustariz Fajardo  <https://orcid.org/0000-0002-6423-9067>
Licenciado en Bioanálisis, Magister Scientiae en Biotecnología de Microorganismos, Diploma de Estudios Avanzados, Doctor /PhD por la Universidad de Oviedo -España Programa “Tecnología del Medio Ambiente” (Biotecnología). Docente Ocasional Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ciencias de la Salud, Carrera de Fisioterapia.
francisco.ustariz@unach.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 08/08/2024

Revisado: 21/08/2024

Aceptado: 02/09/2024

Publicado: 13/09/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v7i2.2.3173>

Cítese:

de la Torre Núñez, E. del C., & Ustariz Fajardo, F. J. (2024). Avances en identificación genética y análisis de perfiles de ADN en biología forense. *Anatomía Digital*, 7(2.2), 222-239. <https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v7i2.2.3173>



ANATOMÍA DIGITAL, es una Revista Electrónica, Trimestral, que se publicará en soporte electrónico tiene como misión contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://anatomiadigital.org>
La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial - Compartir Igual 4.0 International. Copia de la licencia: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Palabras claves:

Muestras biológicas,
Forense,
Secuenciación de
ADN

Keywords:

Biological Samples,
Forensic, DNA
Sequencing

Resumen

Introducción: En la última década, la criminalística ha experimentado un notorio fortalecimiento, extendiéndose más allá de la medicina legal hacia disciplinas como la bioquímica forense y la biología molecular, reflejando la importancia creciente de estas ciencias en el ámbito legal. **Objetivo:** Recopilar información sobre los avances recientes en la identificación genética y el análisis de perfiles de ADN en el campo de la biología forense, con el fin de comprender su aplicación práctica y su impacto en la resolución de casos judiciales. **Metodología:** La investigación es documental con alcance exploratorio y descriptivo, abarca una amplia gama de fuentes, incluyendo artículos científicos, libros, y documentos técnicos relacionados con los avances en la identificación genética y el análisis de perfiles de ADN en el campo de la biología forense. **Resultados:** La investigación permitió la identificación de importantes avances en genética y análisis de perfiles de ADN en biología forense con aplicación práctica y efectiva en el campo forense. **Conclusión:** El estudio, ha permitido explorar y analizar una amplia gama de temas que abarcan la estructura del ADN, las técnicas de análisis de perfiles genéticos; así como, también la obtención y preservación de muestras biológicas, las consideraciones éticas y legales asociadas a la biología forense. **Área de estudio general:** Criminalística y Ciencias Forenses. **Área de estudio específica:** Biología. Tipo de estudio: Artículo de revisión bibliográfica.

Abstract

Introduction: In the last decade, criminalistics has undergone a notorious strengthening, extending beyond forensic medicine into disciplines such as forensic biochemistry and molecular biology, reflecting the growing importance of these sciences in the legal field. **Objective:** To gather information on recent advances in genetic identification and DNA profiling in the field of forensic biology in order to understand their practical application and impact on the resolution of legal cases. **Methodology:** The research is documentary with an exploratory and descriptive scope, covering a wide range of sources, including scientific articles, books, and technical

documents related to advances in genetic identification and DNA profiling in the field of forensic biology. **Results:** The research allowed the identification of important advances in genetics and DNA profiling analysis in forensic biology with practical and effective application in the forensic field. **Conclusion:** The study has allowed the exploration and analysis of a wide range of topics covering DNA structure, genetic profiling techniques, as well as the collection and preservation of biological samples, ethical and legal considerations associated with forensic biology.

Introducción

La criminalística, como disciplina multidisciplinaria, se vale de conocimientos científicos para examinar y analizar materiales relacionados con hechos de trascendencia jurídica. La colaboración entre ciencias forenses, como la antropología forense, es esencial para un trabajo eficiente en la manipulación de restos óseos y material biológico (1)

La criminalística se ha fortalecido significativamente en los últimos diez años, expandiéndose más allá de la medicina legal hacia campos como la bioquímica forense y la biología molecular, reflejando la importancia creciente de estas ciencias en el ámbito legal. La creación de laboratorios especializados se ha vuelto una prioridad en respuesta a las alarmantes tasas de casos en criminalística en nuestro país.

En el contexto del sistema penal acusatorio, los jueces se enfrentan al desafío de valorar la confiabilidad de la prueba científica, para lo cual se proponen lineamientos generales y específicos en tres áreas forenses, como la genética, la dactiloscopia y la comparación forense de voz, como una herramienta innovadora en el ámbito judicial latinoamericano (2)

La identificación genética y el análisis de perfiles de ADN desempeñan un papel crucial en la biología forense al permitir la determinación de la identidad de un individuo o el establecimiento de relaciones familiares. Estos campos se centran en el uso de técnicas y tecnologías para extraer y analizar información genética de muestras biológicas. Su principal objetivo es identificar individuos o establecer conexiones familiares basadas en características genéticas únicas.

La importancia de la identificación genética en el ámbito forense radica en su capacidad para resolver casos de delitos violentos, determinar la paternidad, y facilitar la

identificación de víctimas en situaciones de desastre o accidentes. Los objetivos del análisis de perfiles de ADN en biología forense incluyen la identificación clara de individuos, la exclusión de sospechosos, y la obtención de evidencia científica sólida para respaldar investigaciones criminales (3).

El análisis de ADN para la identificación de evidencias humanas en el campo forense se hizo popular a partir de mediados de la década de los 90. Se analizan pequeñas regiones o trozos de la secuencia del ADN que se encuentran repetidos y dispersos por todo el genoma. Al ser tan pequeñas están libres de artefactos como la presencia de dímeros entre las bases nitrogenadas o alteraciones de la hélice del ADN en ese tramo, por ejemplo, lo que minimiza los errores de lectura al copiarse, son fáciles de amplificar y están poco degradadas, aunque la muestra sea mala o escasa. Además, son regiones de ADN ampliamente polimórficas, por lo que varían de un individuo a otro haciendo muy difícil su coincidencia y no están relacionadas con patologías, lo que elimina susceptibilidades a la hora de establecer un perfil genético (4)

Aunque la ciencia poseía las herramientas necesarias para el estudio del ADN, su aplicación en la resolución de casos judiciales no se produjo hasta 1985, cuando el Ministerio del Interior Británico solicitó la ayuda de Alec J. Jeffreys, profesor de Genética de la Universidad de Leicester. Los primeros casos de Criminalística fueron resueltos gracias a la técnica de los RFLPs (Fragmentos de Restricción de Longitud Polimórfica). Jeffreys descubrió la existencia de unas regiones mini satélites hipervariables dispersas por el genoma humano que al ser tratadas con enzimas de restricción generaban fragmentos de longitud variable. Estudios posteriores realizados por el mismo Jeffreys demostraron que las diferencias en el tamaño de estos fragmentos se debían a que estas regiones consistían en un determinado número de repeticiones en tándem de una secuencia central, el cual variaba de unos individuos a otros. (4)

El primer locus de ADN polimórfico fue descubierto por Wyman y White en 1980 usando una sonda de ADN arbitraria. De esta manera observaron fragmentos de más de 15 longitudes diferentes en una pequeña muestra de individuos. Posteriormente se encontraron otros loci hipervariables como en la secuencia del gen de la insulina humana, en el oncogen “ras”, en el pseudogen de la zeta-globina y en el gen de la mioglobina. Estos loci hipervariables constaban de repeticiones en tándem de una secuencia de oligonucleótidos (11 a 60 pb), de manera que las diferentes longitudes de los fragmentos originados dependían del número de dichas repeticiones y se les denominó VNTR (Variable Number of Tandem Repeat). Tras el descubrimiento de los primeros VNTRs se vio que éstos podían ser aplicados a la medicina forense y sustituir a los marcadores clásicos (5)

En un principio la manera de estudiar dichos marcadores se hizo por medio de la técnica llamada hibridación con sondas o Southern blot. El tipo de sondas utilizadas puede ser de

dos tipos: sondas Mono-locus (SLP) y sondas Multi-locus (MLP). Las sondas Multi y Mono-locus presentan una serie de ventajas e inconvenientes con respecto a una serie de parámetros como son: información aportada, cantidad y calidad del ADN y especificidad entre especies:

A pesar de que el análisis SLP ha sido y es bastante útil en estudios de paternidad no puede decirse lo mismo de su aplicación a la Criminalística ya que presenta una serie de inconvenientes como son: la cantidad y calidad de ADN, el tiempo requerido para este tipo de análisis debido a que es de dos o tres días.

El hecho de que se requieran cantidades elevadas de ADN hace que normalmente, con el primer análisis se consume la totalidad de la muestra, con lo que se dificultan contrapericias y una posterior revisión del caso. (5)

Por lo anteriormente descrito, el objetivo de la presente investigación fue recopilar información de los avances recientes en la identificación genética y el análisis de perfiles de ADN en el campo de la biología forense, con el fin de comprender su aplicación práctica y su impacto en la resolución de casos judiciales (6)

Metodología

La investigación combina un enfoque descriptivo con un diseño documental y no experimental, incluyendo una corte transversal y una cronología retrospectiva. Estas características definen la naturaleza de la investigación de revisión bibliográfica.

Población:

La población constó de 45 referencias bibliográficas relacionadas, obtenidos de bases de datos científicas digitales como Scielo, PubMed, Elsevier, Dialnet, Science Direct. Según los ítems propuestos por Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA), que incluyen la identificación, selección e inclusión de la literatura consultada con la finalidad de obtener datos científicos relevantes sobre los factores asociados con los avances en identificación genética y análisis de perfiles de ADN en biología forenses.

En el estudio se incluyeron artículos en español e inglés del periodo comprendido entre 2019-2023 seleccionados mediante términos de búsqueda o descriptores. Los descriptores utilizados fueron: identificación genética, análisis de perfiles de ADN, identificación genética y biología forense, análisis de perfiles de ADN y biología forense, avances en identificación genética, avances en análisis de perfiles de ADN, avances en identificación genética y análisis de perfiles de ADN en biología forenses

Muestra:

La investigación se basó en 25 artículos científicos relacionados con la identificación genética y análisis de perfiles de ADN en Biología Forense, seleccionados siguiendo los criterios de inclusión establecidos.

La búsqueda bibliográfica se realizó según el siguiente diagrama:

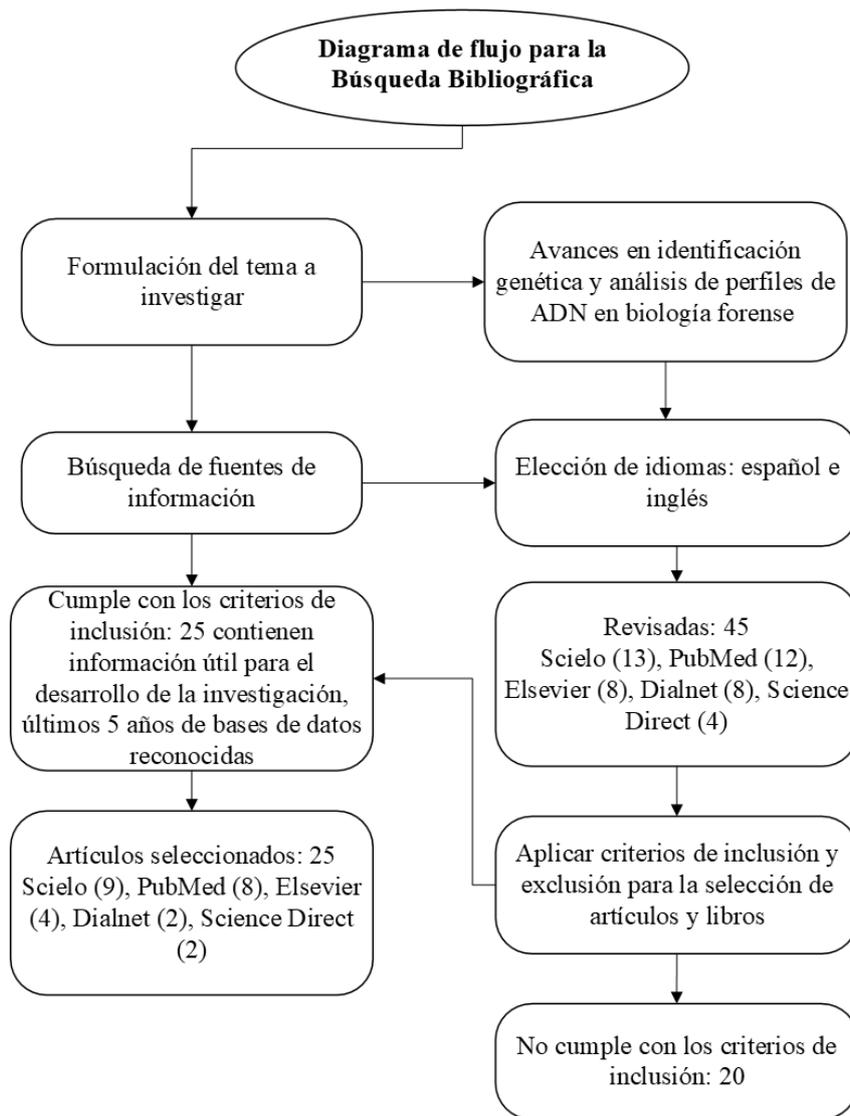


Figura 1. Diagrama de Flujo para la selección de los artículos científicos

Resultados y Discusión

La genética forense ha experimentado avances significativos en las últimas décadas, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías en el análisis del ADN. Estas nuevas

herramientas permiten obtener información más precisa y detallada a partir de las muestras de ADN encontradas en la escena del crimen. Entre las tecnologías más destacadas tenemos: La tabla 1 muestra las nuevas técnicas utilizadas en los últimos cinco (5) años.

Tabla 1: Nuevas técnicas aplicadas en el análisis del ADN.

	Técnica	Descripción	Resultado
Jauk, (2019) (7) Rubio et al., (2020) (8) Georget, (2023)(9) McCombie et al., (2019) (10) Kumar et al., (2019) (11)	Secuenciación masiva paralela o Next Generation Sequencing (NGS)	Esta técnica permite secuenciar millones de fragmentos de ADN al mismo tiempo, lo que agiliza el proceso de análisis y aumenta la sensibilidad y resolución de las pruebas forenses	Es posible identificar a un sospechoso con mayor precisión y establecer relaciones familiares con una mayor certeza.
Saliminejad et al., (2019) (12) Pozniak et al., (2022) (13) Bodulev et al., (2022) (14)	Análisis de microARNs	Con esta técnica los microARNs pueden ser utilizados como marcadores moleculares para identificar características genéticas específicas, como el color de ojos o de cabello	Esta información puede ser invaluable en la resolución de casos en los que el ADN encontrado en la escena del crimen no es suficiente para identificar al responsable.
Neyra et al., (2023) (15) Wright et al., (2023) (16) Tanudisastro et al., (2024) (17)	Marcadores «Short Tandem Repeats» (STR) autosómicos	El análisis de perfiles STR es el método más utilizado en la investigación criminal a nivel mundial, ya que permite establecer con gran fiabilidad la identidad de los vestigios biológicos de la escena mediante comparación de su perfil STR con el obtenido de una muestra indubitada de un investigado o con una base de datos de perfiles de ADN de investigados por delitos graves	En la actualidad ya existen más de 100 millones de perfiles STR repartidos en diferentes bases de datos de ADN nacionales de investigación criminal y cada día es mayor el intercambio de perfiles entre las distintas bases de datos de ADN a nivel mundial, gracias a los diferentes acuerdos suscritos (PRÜM, Interpol) y legislación nacional.

Tabla 1: Nuevas técnicas aplicadas en el análisis del ADN (continuación)

	Técnica	Descripción	Resultado
Neyra et al., (2023) (15) Wright et al., (2023) (16) Tanudisastro et al., (2024) (17)	Marcadores STR del cromosoma Y	A diferencia de los STR autosómicos, son marcadores de ADN específicos del varón que se heredan solo por vía paterna. Son también regiones cortas de ADN repetitivo con gran variabilidad de tamaño entre los individuos de la población. En el ámbito de la investigación criminal, resultan de especial utilidad en casos de agresión sexual y homicidios realizados por varones, en los que el ADN masculino esté mezclado de forma minoritaria con el ADN femenino (víctima), ya que la aplicación de marcadores STR-Y permite detectar específicamente el ADN del varón sin interferencias con el ADN femenino.	Los STR-Y, por su forma de herencia patrilineal, son también marcadores de ADN recomendados para estudios de parentesco entre varones en la identificación de personas desaparecidas y restos humanos en muy diversas situaciones (sucesos con víctimas múltiples, sustracción de recién nacidos).
Quintero et al., (2018) (18) Vásquez et al., (2021)(19) Martí et al., (2020) (20)	Regiones hipervariables del ADN mitocondrial	Además del ADN nuclear, las células humanas contienen un pequeño ADN (genoma) circular en un gran número de copias que se encuentra dentro de las mitocondrias y que se hereda exclusivamente por la vía materna: el ADN mitocondrial. es de aplicación en muchos casos en los que no es posible la obtención de ADN nuclear como son la identificación mediante ADN de fragmentos de pelos o la identificación genética de restos humanos antiguos o sometidos a procesos de degradación del ADN nuclear.	El análisis de las regiones hipervariables del ADN mitocondrial, por su forma de herencia matrilineal, es recomendado también para estudios de parentesco entre familiares de la línea materna en la identificación de personas desaparecidas y restos humanos en muy diversas situaciones (sucesos con víctimas múltiples, sustracción de recién nacidos...)

En la tabla 1 se puede observar que el análisis de perfiles de ADN ha experimentado avances significativos en la última década, lo que ha llevado al desarrollo y la implementación de técnicas más sensibles, rápidas y precisas en el campo de la biología forense. Estas técnicas permiten la identificación de individuos, el análisis de muestras de evidencia y la resolución de casos criminales con una mayor eficiencia y fiabilidad. A continuación, se describen algunas de las técnicas de análisis de perfiles de ADN más relevantes en la actualidad, destacando sus principios, aplicaciones y ventajas.

Secuenciación de nueva generación (NGS): La secuenciación de nueva generación es una técnica avanzada que permite determinar la secuencia completa de ADN en una muestra de manera rápida y eficiente. En la biología forense, la NGS se utiliza para realizar análisis de ADN a nivel genómico, identificar variantes genéticas y realizar análisis de parentesco. La NGS ofrece una mayor capacidad de multiplexación y una mayor resolución que las técnicas tradicionales de secuenciación. (8)

SNP Genotyping: El genotipado de polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) es una técnica que permite detectar variantes genéticas en un solo nucleótido de ADN. En la biología forense, el genotipado de SNP se utiliza para la identificación de individuos, la determinación de ancestros y la predicción de características fenotípicas. Esta técnica es altamente informativa y puede ser aplicada a muestras de ADN degradadas o de baja calidad. (9)

Análisis de ADN mitocondrial: El análisis de ADN mitocondrial se centra en el estudio de la secuencia de ADN presente en las mitocondrias, estructuras celulares responsables de la producción de energía. En la biología forense, el ADN mitocondrial se utiliza en casos donde el ADN nuclear está degradado o es insuficiente para el análisis. El análisis de ADN mitocondrial es especialmente útil en la identificación de restos humanos antiguos o en la resolución de casos de parentesco materno (22)

Aplicaciones de la identificación genética en biología forense

La identificación genética ha revolucionado la biología forense, proporcionando herramientas poderosas para la resolución de casos criminales, la identificación de individuos y la investigación de incidentes relacionados con la genética. A través de diversas técnicas y enfoques, la identificación genética ha ampliado significativamente las capacidades de investigación forense y ha contribuido a la justicia penal de manera sustancial. A continuación, se exploran algunas de las aplicaciones más relevantes de la identificación genética en biología forense, respaldadas por evidencia científica actual. (16)

Perfil de ADN y comparación de muestras:

La técnica más común en la identificación genética forense es la obtención y análisis de perfiles de ADN. Los perfiles de ADN se utilizan para comparar muestras de evidencia con muestras de referencia de sospechosos o víctimas. Esto permite establecer vínculos genéticos entre personas y evidencia física, lo que puede ser crucial en la resolución de casos criminales. La alta sensibilidad y especificidad de los marcadores genéticos utilizados en los perfiles de ADN garantizan resultados precisos y confiables. (17)

Análisis de muestras complejas:

La identificación genética también se utiliza para analizar muestras complejas que contienen mezclas de ADN de múltiples individuos. Mediante el uso de técnicas avanzadas de análisis de perfiles de ADN, es posible separar y caracterizar la contribución genética de cada individuo en una mezcla de ADN. Esto es útil en casos donde varias personas están involucradas en un crimen o cuando se recogen muestras de evidencia en entornos con alta contaminación biológica. (19)

Identificación de restos humanos:

La identificación genética es fundamental en la identificación de restos humanos en desastres naturales, accidentes graves o crímenes violentos. Mediante el análisis de perfiles de ADN obtenidos de restos humanos, es posible establecer la identidad de individuos desconocidos y proporcionar respuestas a familias y comunidades afectadas. Esta aplicación de la identificación genética también se extiende a la identificación de víctimas en contextos de conflictos armados o violaciones de derechos humanos. (20)

Establecimiento de relaciones familiares:

La identificación genética se utiliza para establecer relaciones familiares en casos de filiación, adopción o disputas sobre la paternidad. Mediante el análisis de perfiles de ADN de familiares biológicos, es posible determinar la relación genética entre padres e hijos, hermanos y otros parientes. Esta aplicación de la identificación genética es especialmente importante en la reunificación de familias separadas y la resolución de conflictos legales relacionados con la herencia y la custodia de menores. (21)

Estudios de ancestros y antropología forense:

La identificación genética se utiliza en estudios de ancestros y antropología forense para comprender la historia evolutiva y migratoria de las poblaciones humanas. Mediante el análisis de marcadores genéticos específicos, es posible determinar la ascendencia genética de individuos y poblaciones, así como reconstruir la historia demográfica y cultural de grupos humanos específicos. Esta aplicación de la identificación genética es

importante en la investigación científica, así como en la preservación y protección del patrimonio genético humano (23)

En la tabla 2 se muestra como son aplicadas estas nuevas tecnologías en el análisis del ADN para Ciencias Forenses y otras disciplinas.

Tabla 2. Aplicaciones de tecnologías en el análisis del ADN en otras disciplinas

Objetivo	Técnica	Descripción
La determinación biológica de parentesco	DNA	Constitución genética de un individuo es resultado de la herencia genética obtenida de los progenitores
La identificación humana en investigaciones judiciales	Programa Fénix	Identificación de cadáveres y restos humanos desaparecidos
	DNA-PROKIDS	Lucha contra el tráfico de seres humanos y pretende reunir a las víctimas con sus familias
La identificación humana	Análisis del ADN en proyectos de historia, paleontología	Casos donde nos encontramos con muestras antiguas
Medicina	Biomedicina	Colaboración entre grupos forenses y otras especialidades médicas

Fuente: Elaboración propia basado en Arregui et al. (2), Triverio S, & Crespillo M, García, Z. (29)

En la Tabla 2 se puede observar las aplicaciones de tecnologías en el análisis del ADN en otras disciplinas, las mismas que actualmente permiten:

Resolución de crímenes: La identificación genética se utiliza para comparar perfiles de ADN obtenidos en escenas del crimen con perfiles de sospechosos y bases de datos genéticas, lo que ayuda a establecer la culpabilidad o inocencia de los acusados y a identificar a los perpetradores de delitos. (24)

Exoneración de inocentes: La identificación genética también se utiliza para exonerar a individuos erróneamente condenados al comparar sus perfiles de ADN con evidencia biológica recogida en la escena del crimen. Esto ha llevado a la liberación de numerosas personas injustamente encarceladas y ha demostrado la importancia de la tecnología de identificación genética en la búsqueda de la verdad y la justicia. (20)

Determinación de la paternidad: En casos de disputas de paternidad, la identificación genética se utiliza para establecer la relación biológica entre un presunto padre y un hijo, proporcionando pruebas concluyentes que pueden tener implicaciones legales significativas, como la asignación de responsabilidades de manutención infantil y derechos de custodia. (25)

Desafíos en el uso de la identificación genética en la justicia

Calidad y fiabilidad de las muestras: La calidad y fiabilidad de las muestras de ADN recogidas en escenas del crimen pueden variar y pueden estar sujetas a contaminación o degradación, lo que puede afectar la precisión de los resultados de identificación genética y plantear desafíos en el proceso judicial. (26)

Interpretación de resultados: La interpretación de los resultados de identificación genética puede ser compleja y requiere un análisis cuidadoso por parte de expertos forenses para evitar errores de interpretación que puedan afectar la validez de las pruebas presentadas en el tribunal.

Protección de la privacidad: El uso de la identificación genética plantea preocupaciones sobre la privacidad y confidencialidad de la información genética de los individuos, así como sobre el acceso no autorizado a bases de datos genéticas y la posibilidad de discriminación genética. (27)

Avances recientes en el uso de la identificación genética en la justicia

Mejoras en la tecnología de análisis: Los avances en la tecnología de identificación genética, como la secuenciación masiva y el análisis de microarrays, han mejorado la sensibilidad y la precisión de los análisis de ADN, permitiendo una identificación más precisa de individuos y una resolución más efectiva de casos. (23)

Ampliación de las bases de datos genéticas: La expansión de estas ha aumentado la probabilidad de identificar a los autores de delitos al proporcionar más perfiles de referencia comparados con muestras obtenidas en escenas del crimen. (9)

Mejoras en las políticas y procedimientos forenses: Se han implementado mejoras en las políticas y procedimientos forenses para garantizar la integridad y la calidad de las pruebas de identificación genética, incluyendo estándares de calidad, protocolos de cadena de custodia y controles de calidad (28)

Aunque los avances en identificación genética y análisis de perfiles de ADN en biología forense ofrecen promesas emocionantes contra el crimen y la administración de justicia, su implementación requiere comprender los desafíos técnicos, éticos y legales involucrados. Solo mediante un enfoque integral y colaborativo que equilibre los

imperativos científicos, éticos y legales, podemos garantizar que estas tecnologías se utilicen de manera efectiva y responsable para el beneficio de la sociedad en su conjunto.

Conclusiones

- Los avances en identificación genética y análisis de perfiles de ADN en biología forense se establecido como un hito significativo en la investigación criminal y la administración de justicia a nivel global, dada su sólida fundamentación científica, consideraciones éticas y legales asociadas.
- Los resultados obtenidos destacan la importancia de estos avances en la resolución de crímenes, la identificación de víctimas y la exoneración de inocentes. Sin embargo, también se han identificado una serie de desafíos que deben abordarse para garantizar el uso responsable y ético de estas tecnologías.
- La precisión y fiabilidad de los métodos de identificación genética y el respeto a los principios éticos de consentimiento informado, privacidad y confidencialidad de la información genética garantizan los desafíos legales asociados a la admisión de pruebas genéticas en los tribunales y garantizan el respeto de los derechos individuales de las personas en las etapas del proceso forense.
- El enfoque colaborativo e integrador de los imperativos científicos, éticos y legales permiten aprovechar plenamente el potencial de la identificación genética en la investigación forense y garantizar una administración de justicia justa y equitativa.
- Finalmente, los perfiles genéticos obtenidos de la investigación forense almacenados en una base de datos o banco de datos genéticos, resultaría de gran utilidad para su aplicación práctica en la resolución de casos de investigación judicial.

Conflicto de intereses

No existen conflictos de intereses en relación con el artículo presentado.

Referencias bibliográficas

1. Durán A, Barrezueta C, Vilela W. La naturaleza de la criminalística y sus disciplinas. UTMACH Conference Proceedings [Internet]. 2019;3(1): 276-286. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9358762>
2. Arregui R, Bazantes M, Corral G. La criminalística como ciencia y su importancia en la legislación penal ecuatoriana. LATAM Rev Latinoam Cienc Soc Humanid [Internet]. 2023 Dic 27;4(6): 1393–1407. Disponible en: <https://doi.org/10.56712/latam.v4i6.1531>

3. Rodríguez JR, Loy VB. Bases teóricas de las ciencias forenses contemporáneas y las competencias interdisciplinarias profesionales. *Medicentro Electrónica* [Internet]. 2016 Mar;20(1):3-10. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30432016000100002&lng=es
4. Entrala C. Técnicas de análisis del ADN en genética forense. Laboratorio de ADN forense, Depto de Medicina Legal, Universidad de Granada, España [Internet]. 2020. Disponible en: <https://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/forensetec.htm>
5. García-Castillo Z, López-Olvera CP, López-Escobedo F, Villavicencio-Queijeiro A, Loyzance C, Castillo-Alanís A, Suzuri-Hernández LJ. Elementos técnicos y racionales para la valoración de la confiabilidad de la prueba científica: referencia a tres áreas de la ciencia forense. *Isonomía* [Internet]. 2020;(53):31-69. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-02182020000200003&lng=es&tlng=es
6. Comisión Nacional para el Uso Forense del ADN. Guía para el uso forense del ADN. Ministerio de Justicia, Gobierno de España [Internet]. 2019. Disponible en: <https://www.mjusticia.gob.es/cs/Satellite/Portal/es/ministerio/organismos-ministerio-justicia/instituto-nacional/comision-nacional-para-forense>
7. Jauk F. Secuenciación masiva paralela (NGS): conceptos básicos y aplicaciones. *Hematología Volumen 23 Numero Extraordinario XXIV Congreso Argentino de Hematología: 21-38 octubre 2019*. 2019; 23:21–38. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8796732>
8. Rubio Santiago, Pacheco-Orozco RA, Milena Gómez A, Perdomo S, García-Robles R. Secuenciación de nueva generación (NGS) de ADN: presente y futuro en la práctica clínica. *Univ Med* [Internet]. 2020 Jun;61(2):49-63. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-08392020000200006&lng=en. Epub 2020 Ene 30. <https://doi.org/10.11144/javeriana.umed61-2.sngs>
9. Georget M, Pisan E. Approches diagnostiques basées sur le séquençage à haut débit [Next Generation Sequencing (NGS) for beginners]. *Revue des maladies respiratoires*. 2023 Apr;40(4):345-358. French. DOI:

- 10.1016/j.rmr.2023.01.026. Epub 2023 Mar 1. PMID: 36863993.
<https://doi.org/10.1016/j.rmr.2023.01.026>
10. McCombie WR, McPherson JD, Mardis ER. Next-generation sequencing technologies. Cold Spring Harbor perspectives in medicine. 2019 Nov 1;9(11):1-8. DOI: 10.1101/cshperspect.a036798.
 11. Kumar KR, Cowley MJ, Davis RL. Next-generation sequencing and emerging technologies. Seminars in thrombosis and hemostasis, 2019;45(7):661-673. DOI: 10.1055/s-0039-1688446.
 12. Saliminejad K, Khorram Khorshid HR, Soleymani Fard S, Ghaffari SH. An overview of microRNAs: biology, functions, therapeutics, and analysis methods. Journal of cellular physiology. 2019;234(5):5451-5465. DOI: 10.1002/jcp.27486.
 13. Pozniak T, Shcharbin D, Bryszewska M. Circulating microRNAs in medicine. International journal of molecular sciences. 2022;23(7):3996. DOI: 10.3390/ijms23073996.
 14. Bodulev OL, Sakharov IY. Modern methods for assessment of microRNAs. Biochemistry (Mosc). 2022;87(5):425-442. DOI: 10.1134/S0006297922050042.
 15. Neyra-Rivera CD, Robles Mamani CS, Delgado Ramos E, Velasquez Reinoso M, Budowle B. Análisis de 27 marcadores STR del cromosoma Y en poblaciones de la selva del Perú. Rev Esp Med Leg. 2023;49(4):125-134. DOI: 10.1016/j.reml.2022.10.001.
 16. Wright SE, Todd PK. Native functions of short tandem repeats. eLife. 2023;12. DOI: 10.7554/eLife.84043.
 17. Tanudisastro HA, Deveson IW, Dashnow H, MacArthur DG. Sequencing and characterizing short tandem repeats in the human genome. Nature reviews genetics. 2024;25(7):460-475. DOI: 10.1038/s41576-024-00692-3.
 18. Quintero J, Borjas L, Pardo T. Análisis de la diversidad genética de las regiones HVI y HVII del genoma mitocondrial en una muestra de la población de Maracaibo, Venezuela. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. 2018; 30:642-650. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/235925280>

19. Vásquez S, Guardado M. El ADN mitocondrial: una alternativa útil para la identificación forense. Identificación humana, Análisis a partir de evidencia molecular, México. 2021; <https://www.identificacionhumana.mx/el-adn-mitocondrial-una-alternativa-util-para-la-identificacion-forense/>
20. Martí X, Terra X. Análisis genético forense [tesis de maestría]. Tarragona: Universidad Rovira i Virgili; 2020. Disponible en: https://repositori.urv.cat/estatic/TFM0011/es_TFM607.html
21. Carracedo Á. Forensic DNA Typing Protocols. 1ra Edición. Humana Press Inc., editor. Vol. ISBN 1-58829-264-9. New Jersey: Humana Press Inc.; 2005.
23. Butler J. Advanced topics in forensic DNA typing. Maryland, USA; 2011.
24. García Ó. Genealogía forense. Implicaciones sociales, éticas, legales y científicas. Rev Esp Med Leg. 2021;47(3):112-119. DOI: 10.1016/j.reml.2020.06.001.
25. Sistema Especializado Integral de Investigación DMLYCF. Manual de procedimientos de laboratorio de biología forense [Internet]. 2019 Disponible en: https://www.fiscalia.gob.ec/files/archivos%20AC/COIP%20073%20FGE/Area%20Ciencias%20Forenses/5_Manual_de_Procedimientos_para_el_laboratorios_de_ADN_Humanos.pdf
26. Fondebrider L. Guía forense para la investigación, recuperación y análisis de restos óseos [Internet]. Equipo Argentino de Antropología Forense (EAAF); 2020. Disponible en: <https://eaaf.org/guia-forense-para-la-investigacion-recuperacion-y-analisis-de-restos-oseos/>
27. Comisión Nacional para el Uso Forense del ADN. Guía para el uso forense del ADN. Ministerio de Justicia. Madrid: Ministerio de Justicia; 2019. Disponible en: <https://www.mjusticia.gob.es/es/ElMinisterio/OrganismosMinisterio/Documents/1292430976707-Guide-to-the-Use-of-Forensic-DNA.pdf>
28. Carracedo A, Salas A, Lareu MV, Ángel C. Problemas y retos de futuro de la genética forense en el siglo XXI. Cuad Med Forense. 2010;16(1-2):31-35. Disponible en: <https://scielo.isciii.es/pdf/cmfv16n1-2/revision3.pdf>
29. Triverio SC, Crespillo Márquez M. La necesidad del intercambio transfronterizo de datos genéticos con fines de investigación criminal en

América Latina: retos para su implementación. Revista Española de Medicina Legal. 2022;48(4):158-165. Doi: 10.1016/j.reml.2022.03.001.

30. Crespillo Márquez M, Barrio Caballero PA, Farfán Espuny MJ. Aportaciones y avances de la genética forense en los sucesos con víctimas múltiples. Revista Española de Medicina Legal. 2023;49(2):55-63. DOI: 10.1016/j.reml.2023.04.005.

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Anatomía Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Anatomía Digital**.



Indexaciones

