

Riesgo de transferencia directa e indirecta de DNA en la toma, embalaje y manipulación de evidencias biológicas susceptibles de análisis en los laboratorios de genética forense: una revisión sistemática

Risk of direct and indirect DNA transfer in collection, packaging and handling of biological evidence susceptible to analysis in forensic genetics laboratories: a systematic review

Daniela Acevedo Olaya ^a, Hada Luz Padilla Narvárez ^a, Luz Stella Peñuela Arroyo ^{a, b},
Alexandra Milena Cuartas López ^b.

^a Universidad de Antioquia código postal 050010, Colombia

^b Instituto nacional de medicina legal y ciencias forenses (INMLCF) 050040, Colombia

Autor de correspondencia: 050029 daniela.acevedo@udea.edu.co

Riesgo de transferencia directa e indirecta de DNA en la toma, embalaje y manipulación de evidencias biológicas susceptibles de análisis en los laboratorios de genética forense: una revisión sistemática

Resumen

Las nuevas tecnologías en biología molecular implementadas para el análisis de muestras en genética forense han ido aumentando cada vez más la sensibilidad, lo que permite obtener perfiles con baja cantidad de DNA, este puede ser aportado por el mismo personal que está manipulando las muestras en cualquier etapa del proceso, afectando el análisis e interpretación de los resultados, disminuyendo el valor probatorio de la muestra. Se realizó una revisión sistemática siguiendo las recomendaciones de PRISMA. La evaluación de la calidad metodológica fue a través de la herramienta JBI y se realizó una síntesis cualitativa de 27 artículos donde evalúan la transferencia de DNA en situaciones controladas e identifican también contaminación por parte del personal que tenía contacto con las muestras y de quienes no tenían el contacto, estos hallazgos nos permiten una mayor comprensión respecto a los eventos de contaminación e implementar estrategias para evitarlas.

Palabras claves: Perfil genético, Contaminación de DNA, Evidencia forense, Transferencia de DNA, Toque de DNA, Traza de DNA, Prevalencia de DNA, Genética Forense.

Risk of direct and indirect DNA transfer in collection, packaging and handling of biological evidence susceptible to analysis in forensic genetics laboratories: a systematic review

Abstract

The new technologies in molecular biology implemented for the analysis of samples in forensic genetics have been increasing the sensitivity, which allows obtaining profiles with low amount of DNA, this can be contributed by the same personnel who are handling the samples at any stage of the process, affecting the analysis and interpretation of the results, decreasing the probative value of the sample. A systematic review was carried out following the recommendations of PRISMA. The methodological quality was evaluated using the JBI tool and a qualitative synthesis was made of 27 articles where DNA transfer in controlled situations was evaluated and contamination by personnel who had contact with the samples and those who did not have contact was also identified; these findings allow us to better understand contamination events and implement strategies to avoid them.

Keywords: Genetic profile, DNA contamination, Forensic evidence, DNA transfer, DNA touch, DNA trace, DNA prevalence, Forensic Genetics.

INTRODUCCIÓN

La Genética Forense es la rama de la genética humana encargada de la identificación médico legal e investigación de filiación, así como de establecer si un elemento biológico recuperado dentro del proceso investigativo, pudo originarse de un individuo relacionado con los hechos en calidad de víctima o sospechoso (1). Cuando Alec Jeffrey descubrió por casualidad unas regiones variables del DNA alrededor de 1984, fue quizás uno de los descubrimientos más valiosos para la genética forense y a partir de entonces se empiezan a perfeccionar las técnicas de Biología molecular que han ido evolucionando, desde los polimorfismos de longitud de los fragmentos de restricción (Restriction Fragment Length Polymorphism, RFLPs), número variable de repeticiones en tándem (Variable Number of Tandem Repeats, VNTRs), repeticiones cortas en tándem (Short Tandem Repeats, STRs) y polimorfismos de nucleótidos simple (Single Nucleotide Polymorphism, SNPs), hasta la como secuenciación de última generación (2,3).

Hace dos décadas, para realizar procedimientos de genética forense se necesitaban muestras biológicas visibles, es decir, suficiente material para obtener un perfil genético. En la actualidad con el avance de la tecnología, basta una mínima cantidad de muestra para encontrar perfiles completos de víctimas o sospechosos en las muestras analizadas en el marco de una investigación. Sin embargo, con dichos avances, también se ha aumentado la sensibilidad de equipos y kits forenses que hacen viable obtener perfiles de DNA de contacto o con baja cantidad de DNA que no es atribuible a un fluido específico, es decir, DNA que se transfiere de una superficie a otra y que algunas veces puede haberse transferido antes, durante o después de un hecho que reviste características de delito (4–7).

En la actualidad los laboratorios de genética forense utilizan nuevas tecnologías implementadas en biología molecular para el análisis de muestras biológicas, entre las que se encuentran el uso de STRs para su uso en procesos de Identificación, así como en casos penales y casos civiles. Éstos nuevos kits de STRs múltiplex utilizan mini STRs, que son secuencias de DNA mucho más cortas, por lo que pueden ser amplificadas con mayor probabilidad (8); esto, aunado al uso de mejores analizadores genéticos como el 3500xl,

han aumentado cada vez más la sensibilidad en la detección de DNA, permitiendo generar perfiles genéticos de muestras únicas, escasas, degradadas e incluso residuos celulares que quedan tras un contacto (9,10).

Este avance en las técnicas de análisis implica que es posible recuperar también material genético que ha sido transferido de manera directa e indirecta entre evidencias y manipuladores y que no necesariamente está relacionado con el caso investigado, así como también ésta transferencia puede potencialmente presentarse por parte del personal que está participando en cualquier etapa del proceso de recolección, custodia o análisis de los elementos materiales probatorios y evidencia física (EMP y EF), más grave aun cuando los perfiles de investigadores, asistentes y peritos, se han reportado en bases de datos de perfiles genéticos, afectando la vocación probatoria de la evidencia y la credibilidad de los resultados reportados por un laboratorio de genética forense, que son una de las herramientas de la administración de justicia para buscar la verdad de un hecho investigado (4,11,12).

La transferencia de DNA se puede presentar al momento de la recolección de los EMP y EF por parte de médicos, policías judiciales, peritos, asistentes, custodios y hasta terceros que no intervienen en el proceso, pero que en algún momento manipularon instrumentos, equipos o estuvieron en el lugar de los hechos. En algunas ocasiones, esto está relacionado con el incumplimiento de los protocolos de bioseguridad en los procesos de recolección, manipulación y análisis de las evidencias que pueden afectar la idoneidad de la muestra (10). La transferencia directa de DNA puede darse a través de un contacto estrecho como en un apretón de manos, pero también puede darse al hablar, toser o estornudar, depositando material genético en una superficie, persona u objeto, mientras que la transferencia indirecta requiere de uno o varios intermediarios, presentándose posterior a la transferencia directa, incluso pueden presentarse pasos sucesivos tras una serie de contactos (7,13); este material genético transferido puede permanecer con el tiempo, ya sea días incluso semanas, en diferentes superficies u objetos, siendo susceptible de ser transferido adicionalmente a EMP Y EF, equipos, instrumentos, personas o áreas de trabajo, lo que puede generar contaminación en diferentes etapas del proceso analítico (4,14) .

El DNA transferido puede impactar la interpretación de un resultado, ya que el perfil del DNA contaminante se puede obtener como perfil genético único; puede aparecer mezclado como contribuyente principal o secundario, llevando a crear hipótesis erradas e incluso desviar el curso de la investigación, lo que demuestra la necesidad de diseñar estrategias que permitan implementar procesos para identificar, disminuir y prevenir los eventos de contaminación que se presenten en cualquiera de las etapas del proceso, ya sea durante la recolección, custodia o en el proceso de análisis (7,15)

Los Laboratorios de Genética forense inmersos en un sistema de gestión de calidad, cuentan con procedimientos y controles que ayudan a aminorar la transferencia de material genético en los EMP y EF analizados, como la disponibilidad de perfiles de referencia que permitan realizar controles de contaminación mediante el uso de herramientas de comparación de perfiles, como el software GeneMapper, así como también realizar búsquedas permanentes de coincidencias de estos perfiles en bases de datos, como por ejemplo en el Sistema de Índice Combinado de DNA, CODIS por sus siglas en inglés (Combined DNA Index System), con los perfiles obtenidos del análisis de las evidencias. A pesar de su utilidad, este proceso tiene algunas limitantes, dado que, en la gran mayoría de laboratorios de genética forense, solo se cuenta con los perfiles de referencia de los analistas y asistentes de laboratorio, pero no se cuenta con perfiles genéticos de otras personas relacionadas en la recolección y manipulación de elementos susceptibles de análisis genético, como los investigadores de policía judicial, ni de médicos que realizan la atención médico-legal o procedimientos de necropsia ni custodios de EMPs y EFs que intervienen en el proceso y que pueden aportar su material genético de forma directa o indirecta (7,15).

Si bien la administración de justicia a nivel mundial, considera como prueba reina los hallazgos reportados en los informes periciales de genética forense, se deben considerar los potenciales riesgos de transferencia directa o indirecta que puedan afectar la validez de un informe pericial presentado como medio de conocimiento en juicio oral, dado que no siempre el perfil reportado en un informe pericial de genética forense, puede provenir del contacto directo y estar asociado con la víctima y el sospechoso. Es importante conocer estos posibles hallazgos para no cambiar la dirección de la investigación, dado que la

transferencia de material genético de terceros es una posibilidad a la hora de interpretar un perfil no asociado a las personas relacionadas en un proceso investigativo (16).

JUSTIFICACIÓN

Esta revisión sistemática se realiza dada la necesidad que hay en los laboratorios de genética forense de profundizar el conocimiento en el tema de transferencia de material genético que se puede dar durante el manejo de elementos materiales probatorios y evidencia física y las posibles repercusiones que puede generar en un proceso de índole penal para la administración de justicia.

En este estudio se presentan los principales hallazgos relacionados con la transferencia de material genético en diferentes lugares, diferentes soportes o sustratos, diferentes intervalos de tiempos, tipos de contacto y los perfiles genéticos obtenidos, desde estudios controlados hasta el análisis de casos rutinarios, como una forma de evidenciar la posibilidad de transferencia de material genético y su impacto en las investigaciones judiciales y resalta la necesidad de profundizar en el conocimiento del tema de transferencia de material genético que puede potencialmente ser transferido durante el manejo de elementos materiales probatorios y evidencia física y las posibles consecuencias en el curso de las investigaciones penales.

OBJETIVOS

Objetivo general

-Identificar a través de una revisión sistemática el riesgo de transferencia directa e indirecta de DNA entre los manipuladores y las evidencias biológicas susceptibles de análisis en los laboratorios de genética forense

Objetivos específicos

-Determinar variables cualitativas de los artículos y establecer las frecuencias de los datos obtenidos.

-Sintetizar la información obtenida de la literatura sobre la transferencia directa e indirecta de DNA entre los manipuladores y las evidencias biológicas susceptibles de análisis en los laboratorios de genética forense.

-Identificar si en las diferentes etapas del proceso de investigación la persona que entra en contacto con EMPs puede transferir DNA a las muestras susceptibles a un análisis genético.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio

Se realizó una revisión sistemática de la literatura, siguiendo las recomendaciones de la guía PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). (Material suplementario 1)

Pregunta de investigación

Pregunta PICO: Población/Intervención/Comparador/Outcome (Desenlace).

Población: Forensic evidence, Biological evidence, Forensic genetic, Forensic DNA identification y Forensic DNA analysis

Intervención: Genetic profile, Wearer DNA, Excretion, DNA recovery y DNA typing

Comparador: Reference samples, Skin cells y Handler profile

Outcome (Desenlace): DNA contamination, DNA transfer*, DNA touch, DNA trace, DNA persistence DNA prevalence y DNA recovery

Búsqueda y selección de los estudios

Se utilizaron tesauros para identificar los términos MeSH (Medical Subject Heading) y DeCS (Descriptores en Ciencias de la Salud), así como términos no MeSH y no DeCS, con el fin de garantizar que se contó con todos los sinónimos de los términos centrales del trabajo, de acuerdo a cada uno de los elementos PICO. Con los términos identificados se llevó a cabo la búsqueda de artículos originales publicados en las bases de datos multidisciplinarias PubMed, Scopus y Lilacs entre los periodos 04-04-2023 a 29-04-2023, posteriormente se hizo una última búsqueda el 16-05-2023 para actualizar e identificar si habían cambiado los

resultados de la búsqueda, los nuevos artículos publicados fueron incluidos. Se utilizó el operador booleano “OR” entre los diferentes términos definidos para cada elemento de la pregunta PICO y posteriormente se utilizó el operador booleano “AND” para combinar las ecuaciones de las búsquedas de cada elemento de la pregunta PICO.

A continuación, se presenta la ecuación de la búsqueda para la base de datos.

((forensic evidence) OR (biological evidence) OR (forensic genetic) OR (forensic dna identification) OR (forensic dna analysis)) AND ((genetic profile) OR (wearer dna) OR (excretion) OR (dna recovery) OR (dna typing)) AND ((reference samples) OR (handler profile) OR (skin cells) OR (substrates) OR (surfaces)) AND ((dna contamination) OR (secondary transfer) OR (primary transfer) OR (dna transfer) OR (dna touch) OR (dna trace) OR (dna persistence) OR (dna prevalence) OR (dna recovery)) (Material suplementario 2). Adicionalmente, se incluyeron artículos recomendados por un experto en el tema. En la búsqueda no se utilizaron filtros ni límites de tiempo para recolectar la mayor cantidad de información disponible del tema.

Tamización y elegibilidad

Se eliminaron duplicados a través del gestor de referencias Endnote, también se eliminó un registro categorizado como “otras razones” debido a que era un archivo multimedia. Se tamizaron los artículos por lectura de título y resumen, categorizando los no incluidos en: estudios en animales, estudios no relacionados con transferencia directa e indirecta de DNA humano, validación de técnicas, revisiones, revisiones sistemáticas y metaanálisis, estudios de morfología o contenido celular de trazas de DNA y estudios que evalúan las ventajas de DNA touch. Este proceso de selección fue realizado de manera manual e independiente por dos investigadores, las discrepancias fueron analizadas por un revisor. La evaluación del proceso de selección anterior fue revisada también de forma manual e independiente por dos expertos en el tema. Los artículos recomendados por un experto también fueron revisados por los investigadores y posteriormente por un evaluador. Después de este tamizaje se realizó la lectura del texto completo categorizando los artículos excluidos como: estudios que determinan el origen biológico o fuente del DNA de las muestras, ventajas de la recuperación de DNA touch y artículos sin perfiles de referencia. Este proceso fue

realizado de manera manual e independiente por dos investigadores y evaluada por un revisor.

Extracción de los datos

La extracción de datos se realizó en Excel de manera independiente por dos investigadores y se evaluó la reproducibilidad y concordancia de los resultados. Las diferencias fueron resueltas por consenso y posteriormente se realizó revisión por un tercer investigador. Se realizó la extracción de las siguientes variables: año, autor, país, título, objetivo del estudio, tamaño de la muestra, tipo de sustrato (superficie), tipo de transferencia, perfiles genéticos reportados y hallazgo.

Evaluación de la calidad metodológica

La evaluación de la calidad metodológica se realizó por medio de la herramienta de evaluación crítica para el uso en las revisiones sistemáticas de JBI (Joanna Briggs Institute), teniendo en cuenta las listas de verificación “Checklist for Quasi-Experimental (Appraisal Tool)” y “Checklist for Qualitative (Appraisal Tool) “. El análisis de reproducibilidad se realizó por dos investigadores de forma independiente para garantizar la concordancia en la búsqueda, selección y extracción de la información de los estudios (Material suplementario 3)

Análisis de la información

La información obtenida de los estudios incluidos, fue analizada mediante una síntesis de variables cualitativas nominales, como tipo de transferencia de DNA y perfiles genéticos reportados posterior al análisis, los cuales se evaluaron mediante análisis de frecuencias absolutas y relativas. Se seleccionaron otras variables secundarias como el año, país de publicación y el tipo de estudio (experimental o retrospectivo).

RESULTADOS

Se identificaron 453 registros en total de las tres bases de datos y luego de la eliminación de duplicados, se tamizaron 288 artículos más 11 artículos sugeridos por un experto, estos se filtraron por lectura de título, resumen y texto completo, arrojando un resultado final de

27 artículos que cumplieron el protocolo de búsqueda y selección (Material suplementario 4). (Figura 1).

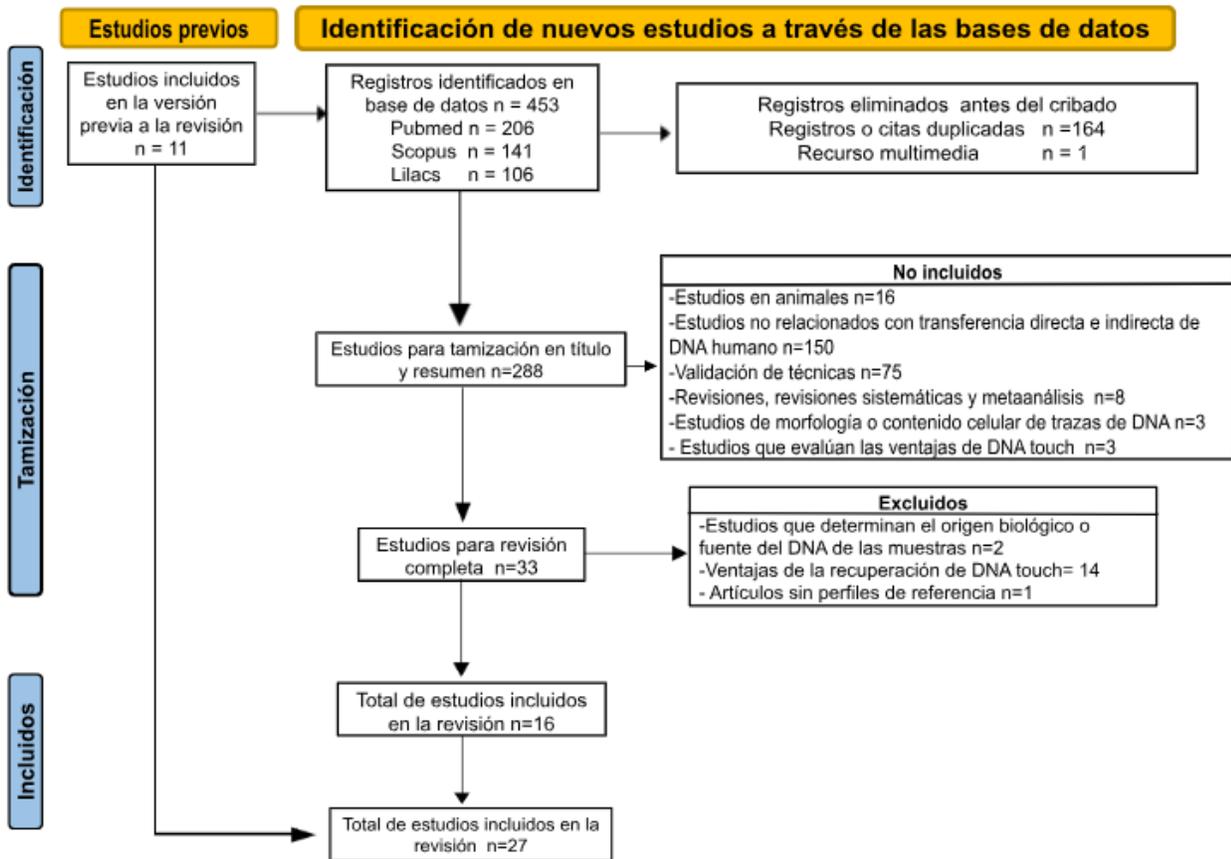


Figura 1. Diagrama declaración PRISMA 2020 del procedimiento de búsqueda y selección de artículos. Descripción de los pasos para el desarrollo de los criterios de la guía PRISMA: identificación, tamización e inclusión de artículos.

Los artículos incluidos en la revisión, fueron publicados entre los años 2003 y 2023, principalmente en Oceanía y Europa y se clasificaron entre estudios experimentales (n=24), donde evaluaban la transferencia de DNA en situaciones controladas. También se analizaron 3 artículos de estudios retrospectivos, donde identificaron contaminaciones de perfiles genéticos provenientes de personal que tenía contacto con las muestras y perfiles de otras personas que incluso no estaban relacionadas con los casos. (tabla 1).

Nº	DOI	AÑO	AUTOR	PAIS	TIPO DE ESTUDIO	TÍTULO	OBJETIVO DEL ESTUDIO	TAMAÑO DE LA MUESTRA	TIPO DE SUSTRATO (SUPERFICIE)	TIPO DE TRANSFERENCIA	PERFILES GENÉTICOS REPORTADOS	HALLAZGO
1	https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2021.102626	2022	Jansson L	Suecia	E	Individual shedder status and the origin of touch DNA.	Determinar si el estado de excreción de un individuo en una ocasión determinada, se puede asociar a los niveles de DNA en la piel del rostro, lo que implicaría que la mayoría del DNA táctil depositado en las manos se origina al tocar la cara u otras partes del cuerpo.	15 personas	Tubo de plástico	Transferencia Prevalencia	Perfiles mixtos y perfil de fuente única	Los resultados sugieren que, en muchos casos, la mayoría del DNA depositado en artículos y superficies no se origina en las manos en sí, sino que puede haberse transferido a las manos al tocar, frotar o rascar otras partes del cuerpo o manipular objetos personales. Los niveles individuales de DNA depositado están altamente asociados con el nivel de acumulación de DNA en la piel de la cara, pero no se observó correlación entre las cantidades de DNA depositado y la secreción de sebo facial. Sin embargo, la fuerte asociación con la acumulación de DNA facial sugiere que los mecanismos fisiológicos, más que las diferencias en los hábitos personales, dictan el estado de desprendimiento del individuo.
2	http://dx.doi.org/10.1016/j.fsigen.2016.02.001	2016	Samiel L	Suiza	E	Stabbing simulations and DNA transfer.	Estudiar la transferencia de DNA de la mano de un individuo al mango de un cuchillo al simular un ataque. Sabiendo que existe la posibilidad de una transferencia secundaria de DNA, no solo siendo importante la transferencia de la secuencia del DNA del apuñalado, sino también en la transferencia de cualquier DNA extraño presente en su mano.	4 personas	Cuchillo	Transferencia directa e indirecta	Perfiles mixtos, mezcla de y perfiles parciales	El perfil de DNA de la persona que maneja el cuchillo estaba presente como perfil principal en aproximadamente el 83% de los casos. El perfil de los apuñaladores nunca fue observado como el menor contribuyente. No se observó una exclusión del apuñalador basada en todos los loci. De hecho, para todos los rastros, el perfil del apuñalador se incluyó como posible contribuyente para más de 6 loci. Los perfiles de DNA de los colegas del apuñalador tampoco se observaron.
3	https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2022.102765	2022	Reither JB	Australia	E	DNA transfer between worn clothing and flooring surfaces with known histories of use.	Evaluar hasta qué punto el DNA puede transferirse y detectarse en superficies que han entrado en contacto dentro de un entorno residencial, es decir, ropa y pisos, donde ambas superficies tienen algún nivel de DNA presente de un uso anterior. También pretenden evaluar si el grado de transferencia entre las dos superficies cambia cuando el tipo de interacción difiere del contacto pasivo.	casas: 12 personas: 12	Pisos Camisetas algodón, pantalones de algodón y elastano	Transferencia directa e indirecta	Mezcla de perfiles	Se recuperó menos DNA de las áreas de contacto directo entre las dos superficies en comparación con las áreas de estas superficies donde no se produjo el contacto. Además, la transferencia de DNA sólo se observó en perfiles generados a partir de áreas de contacto, y la frecuencia con la que se observó la transferencia de DNA aumentó cuando se introdujeron fricción y presión, a diferencia del contacto pasivo. Se observaron consistencias entre la tasa de transferencia en la ropa usada por ciertos individuos y el piso en ciertas habitaciones.
4	http://dx.doi.org/10.1016/j.fsigen.2014.03.005	2014	Zoppis S	Italia	E	DNA fingerprinting secondary transfer from different skin areas; Morphological and genetic studies.	Demostrar experimentalmente la hipótesis de que el líquido sebáceo puede representar un vector importante responsable de la transferencia de DNA desde la superficie de la piel a otras superficies.	8 personas	Portaobjetos de vidrio	Transferencia directa e indirecta	Perfiles únicos y perfiles parciales	La transferencia secundaria de rastros de DNA se origina en el sebo y no en los queratinocitos, luego del contacto con diferentes áreas de la piel. La secreción sebácea tiene una gran variabilidad no sólo entre diferentes individuos, sino también como para un mismo sujeto dependiendo de los diferentes períodos de la vida. Por lo tanto, el origen del "DNA táctil" no puede reducirse entre "buenos excretores" y "pobres excretores" refiriéndose simplemente al recambio de queratinocitos, sino que requiere la consideración de un gran número de factores variables.
5	https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2010.01.003	2010	Goray M	Australia	E	Investigation of secondary DNA transfer of skin cells under controlled test conditions.	Investigar algunas variables clave que afectan la transferencia de material que contiene DNA depositado inicialmente por contacto.	6 muestras	Algodón Plástico	Transferencia directa	Perfil único	Las células de la piel tienen una capacidad de transferencia significativamente diferente en comparación con los fluidos biológicos. Las células de la piel recién depositadas tienen una tasa de transferencia notablemente más baja en una variedad de variables en comparación con las tasas de los fluidos biológicos cuando el sustrato principal es plástico; sin embargo, cuando el sustrato principal es algodón, las células de la piel recién depositadas muestran una mayor tasa de transferencia en comparación con los fluidos biológicos.
6	https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2020.102268	2020	Szkuta B	Australia	E	DNA transfer to worn upper garments during different activities and contacts: An inter-laboratory study.	Investigar la transferencia y recuperación de DNA a prendas superiores usadas durante diferentes actividades y contactos para determinar la probabilidad de detectar DNA de individuos conocidos. Informado por escenarios comúnmente encontrados en el trabajo de casos, además exploraron la presencia de DNA de fondo de la ropa del usuario, sus asociados cercanos y personas desconocidas en las prendas usadas.	laboratorio s: 4 Personas: 16	Prendas superiores	Transferencia directa e indirecta	Perfiles únicos y mezclas de perfiles	Este estudio informa sobre el éxito de la recuperación del DNA de una persona en una prenda de vestir tras el contacto directo, la proximidad y la ausencia física. Después de un abrazo casual se recupera DNA del abrazador de la parte externa de la espalda y el pecho de las prendas, donde los participantes informaron consistentemente contacto de piel (mano) con prenda o prenda con prenda. Después de la ocupación temporal de la oficina, el DNA del ocupante original se observó en los perfiles de la parte externa de la espalda, el antebrazo y el puño, los cuales estuvieron en contacto con la silla o el escritorio de la oficina.
7	https://doi.org/10.1007/s00414-017-1736-x	2018	Ruani T	Australia	E	Investigation of DNA transfer onto clothing during regular daily activities.	Este estudio fue diseñado para examinar la probabilidad de transferencia de DNA a la ropa externa durante las actividades diarias regulares mediante la determinación de la cantidad de DNA endógeno y extraño depositado. También investigo el lavado como un posible mecanismo que favorece la transferencia de DNA a la ropa recién lavada	50 personas	Camisas	Transferencia directa e indirecta	Perfil único y mezcla de perfiles	Se detectó en 2 ocasiones el DNA del examinador que recolectó las muestras en uno de los laboratorios. Demostraron que es común que la transferencia de DNA extraño pueda estar presente en la ropa externa de un individuo durante un día normal incluso antes de usar la prenda, también demostraron la aparente facilidad con la que el DNA se transfirió a una prenda durante el lavado de la ropa, otro hallazgo importante fue la cantidad de DNA que recogieron de ropa recién lavada, lo que representa los niveles de fondo de DNA que se puede esperar que se detecten en la superficie de la ropa limpia proporcionada por los participantes.
8	https://doi.org/10.1038/s41598-019-46051-9	2019	Sessa F	Italia	E	Touch DNA: impact of handling time on touch deposit and evaluation of different recovery techniques: An experimental study.	Investigar el "tiempo de manipulación", analizando en particular el tiempo de contacto necesario para depositar una cantidad suficiente de DNA en una prenda para producir un perfil interpretable del "manipulador".	10 muestras	Brasier	Transferencia directa e indirecta Persistencia	Perfiles únicos, perfiles parciales y mezclas de perfiles	Los resultados muestran que la persona que manipula la prenda en último lugar es la que más contribuye, aunque pueda tocar la prenda solo unos segundos (incluso solo 2 segundos); estos hallazgos no están influenciados por la pareja "manipulador/usuario".
9	https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2019.06.011	2019	Szkuta B	Australia	E	Assessment of the transfer, persistence, prevalence and recovery of DNA traces from clothing: An inter-laboratory study on worn upper garments.	Determinar la frecuencia de detección de DNA de usuarios y no usuarios en prendas superiores usadas en días laborales o no laborales y, en los casos en que se detectó DNA de no usuarios, si podría atribuirse a una persona cercana del usuario.	laboratorio s: 4 Personas: 16	Prendas superiores	Transferencia directa e indirecta	Perfiles únicos, mezclas de y perfiles parciales	En 2 ocasiones se detectó un examinador como contribuyente menor; identificaron que el DNA del usuario generalmente se transfiere a una prenda como resultado del contacto directo a través del uso regular, donde generalmente se acumula en las superficies internas, como el cuello y el puño internos. Aunque se pueden obtener perfiles de buena calidad correspondientes al usuario de ambas áreas, es más probable que el collar interno produzca perfiles más significativos del usuario. También se acumula en áreas externas, aunque las personas que viven o comparten un espacio con el usuario frecuentemente aportan su DNA a la prenda cuando se exponen a estos entornos.
10	http://dx.doi.org/10.1016/j.fsigen.2016.07.015	2016	Buckingham AK	Australia	E	The origin of unknown source DNA from touched objects.	Mejorar la comprensión de la transferencia y persistencia del DNA durante y después del manejo de un objeto que se encuentra comúnmente en las investigaciones criminales.	4 personas	Placa de vidrio Cuchillos	Transferencia directa e indirecta Prevalencia	Mezcla de perfiles	El DNA ajeno parece estar presente en la mano de una persona y que puede transferirse al igual que el DNA propio a un objeto que toca. Donde el porcentaje de DNA no propio aumenta en los depósitos inmediatamente después de manipular un objeto que contiene únicamente DNA extraño de personas que lo tocaron justo antes que la persona en cuestión. Sin embargo, el porcentaje de DNA ajeno frente al propio disminuye a medida que se manipulan más objetos.

NR	DOI	ANO	AUTOR	PAIS	TIPO DE ESTUDIO E' o R''	TITULO	OBJETIVO DEL ESTUDIO	TAMANO DE LA MUESTRA	TIPO DE SUSTRATO (SUPERFICIE)	TIPO DE TRANSFERENCIA	PERFILES GENÉTICOS REPORTADOS	HALLAZGO
11	https://doi.org/10.1007/s00414-023-02979-z	2023	Bini C	Italia	E	Impact on touch DNA of an alcohol-based hand sanitizer used in COVID-19 prevention.	Evaluar si el uso de desinfectantes para manos a base de alcohol podría afectar el depósito, la transferencia y la recuperación de DNA propio y no propio. Además, dado que la saliva puede ser una fuente más frecuente de material genético durante los eventos de transferencia que las células epiteliales depositadas en una mano el efecto del desinfectante de manos se evaluó en los depósitos táctiles de las yemas de los dedos previamente humedecidas con saliva.	120 muestras	Portaobjetos de vidrio	Transferencia directa e indirecta	Perfiles únicos y mezclas de perfiles	Nuestros resultados han demostrado que la actividad que involucra el uso de un desinfectante para manos a base de alcohol reduce la cantidad de DNA depositado y recuperado de las superficies tocadas, y la reducción es estadísticamente significativa cuando se deposita material rico en DNA (saliva) junto con material derivado de la piel. Sin embargo, cuando la cantidad de DNA no cae por debajo de los umbrales recomendados, el uso de desinfectantes para manos no reduce el éxito de la tipificación de STR y se pueden obtener perfiles informativos que coincidan con la muestra de referencia.
12	https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.07.010	2007	Phipp s M	Nueva Zelanda	E	The tendency of individuals to transfer DNA to handled items.	Investigar más a fondo el desprendimiento de DNA y los factores que influyen en él, como el tiempo transcurrido desde el lavado de manos y cuál de las manos se usa para tocar un artículo. también intentaron realizar la clasificación a los individuos como buenos o malos excretores.	65 personas	Tubos de plástico	Transferencia directa	Perfiles únicos y perfiles parciales	Los individuos de este estudio no arrojaron una cantidad constante de DNA a lo largo del tiempo. Indicando que puede ser más difícil de lo esperado clasificar a los individuos como "buenos" o "malos" excretores. también observaron la variabilidad en la cantidad de DNA que se puede recuperar de los elementos que una persona ha tocado. también identificaron que sí existen "buenas" mudas, pero son poco comunes, siendo identificadas sólo en uno de sus experimentos.
13	https://doi.org/10.1016/j.fsigs.2019.10.192	2019	De Wolff T	Australia	E	Prevalence of DNA in vehicles: linking clothing of a suspect to car occupancy	Evaluar las muestras de ropa para explorar si un individuo puede relacionarse con el entorno interior de un vehículo a través de la transferencia de rastros de DNA del conductor habitual del vehículo a la ropa del conductor incidental.	10 vehículos	Vehículo Prendas superiores y pantalones	Transferencia directa e indirecta	Mezcla de perfiles	El DNA del conductor habitual del vehículo se pudo recuperar tanto de la parte posterior de la prenda superior, como del asiento de los pantalones del conductor incidental, siendo el más exitoso en ambos laboratorios.
14	https://dx.doi.org/10.1016/j.fsigen.2015.11.2012	2016	Van Den Berge M	Países bajos	E	Prevalence of human cell material: DNA and RNA profiling of public and private objects and after activity scenarios	Evaluar la cantidad y composición del material celular humano que prevalece en varios elementos, también evaluar el efecto de la presencia del sebo o sudor en las superficies de la piel sobre la transferencia de DNA, adicionalmente, evaluar la transferencia y persistencia de DNA durante el lavado (en lavadora)	549 muestras	Artículos públicos, piel y ropa o tela.	Transferencia directa e indirecta Persistencia	Perfiles únicos, perfiles parciales y de perfiles	Los altos rendimientos de DNA no se relacionan necesariamente con un aumento en el número de contribuyentes o la detección de otros tipos de células además de la piel; los rendimientos de DNA de las muestras varían principalmente entre individuos y menos dentro de las muestras de la misma persona; la presencia del sebo promueve la transferencia de DNA, el sudor podría tener un efecto similar pero menos fuerte.
15	https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2009.05.001	2009	Mariya Goray	Australia	E	Secondary DNA transfer of biological substances under varying test conditions	Factores que pueden influir en la transferencia secundaria de DNA de muestras biológicas, bajo una variedad de condiciones (tipo de sustancia biológica, naturaleza del sustrato, contenido de humedad y tipo de contacto).	50uL de DNA puro 50uL de saliva 15 uL de sangre	Blando y poroso (Algodón y lana), duro y no poroso (Plástico)	Transferencia indirecta	Perfiles únicos	El tipo de sustrato tiene un impacto importante en el porcentaje de transferencia, el plástico como sustrato primario la facilita comparada con el algodón o la lana y esta transferencia es variable según el sustrato secundario, la forma de contacto tiene gran influencia en el porcentaje de material biológico que se transfiere (aumentando en fricción), la humedad es significativa para la transferencia de DNA de todas las muestras biológicas siendo mucho más probable que las muestras húmedas se transfieran más que las secas.
16	https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2007.08.015	2007	R.K. Farmen	Noruega	E	Assessment of individual shedder status and implication for secondary DNA transfer	Investigar las implicaciones del estado de excreción individual en la transferencia secundaria de DNA a partir de la manipulación de elementos.	9 personas	beakers (de vidrio)	Transferencia directa e indirecta	Perfiles únicos, mezclas de perfiles parciales	El estado de eliminación de una persona es importante para depositar suficiente DNA para un perfil completo, los buenos excretores tienen material de DNA persistente mientras los malos excretores apenas depositaban material en la piel u objetos.
17	https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2019.102203	2020	Mariya Goray	Australia	E	DNA detection of a temporary and original user of an office space	Investigar en qué medida el DNA dejado por un usuario temporal de un espacio de oficina que ha sido ocupado por un usuario habitual por un periodo prolongado es detectable cuando se conoce la duración de su ocupación temporal y sus actividades generales. Además, con que facilidad se sigue detectando el DNA del usuario habitual después de un periodo conocido de ocupación por otra persona y en qué medida está presente el DNA de otros	143 muestras	Artículos-superficie de oficina	Transferencia directa e indirecta Persistencia	Perfil genético obtenido	En general los perfiles se generaron a partir de casi todas las muestras recolectadas dentro de los espacios de oficina, si bien la mayoría de los perfiles consistían en contribuciones de varias personas; el propietario de la oficina se detectó en la mayoría de los sitios de los que se recolectaron muestras y fue el principal contribuyente de la mayoría de las muestras
18	https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2019.10.085	2019	Ketsaraporn Nontapirom	Tailandia	E	Assessment and prevention of forensic DNA contamination in DNA profiling from latent fingerprint	Evaluar la contaminación del cepillo de huellas dactilares y un procedimiento simple de limpieza del cepillo	10 cepillos	Pelos de cepillo	Transferencia directa e indirecta persistencia	Mezclas de perfiles y perfiles parciales	El estudio demostró que el cepillo de muestras dactilares podría ser un portador crítico que causo la transferencia secundaria de materiales biológicos a la evidencia de huellas dactilares.
19	https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2007.10.001	2007	Nicole von Wurmb-Schwark	Alemania	E	The impact of DNA contamination of bone samples in forensic case analysis and anthropological research	Investigar muestras óseas históricas contaminadas artificialmente que no contenían DNA original, con y sin el empleo de protocolo de limpieza	66 muestras	Huesos	Transferencia directa	Mezcla de perfiles	Parece que no es posible eliminar absolutamente el DNA contaminante de la saliva o de la solución de DNA puro utilizando el procedimiento de limpieza descrito, aproximadamente el 70% de las muestras contaminadas con saliva aun arrojan perfiles STR reproducibles lo que implica problemas graves para la investigación de fragmentos óseos altamente degradados.
20	https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2019.10.192	2019	Toni Boyko	Australia	E	Prevalence of DNA in vehicles: Linking an item away from a vehicle to occupancy of the vehicle	Investigar hasta qué punto el DNA de un automóvil es recogido por un conductor temporal y transferido a los elementos tocados después de dejar el automóvil	5 carros	Placas de vidrio, llaves del auto	Transferencia directa e indirecta persistencia	% de muestras con ADN: sin limpieza (SL)-con limpieza (CL) DN: SL:100% CL:81% Saliva: SL:90% CL:70% Toque: SL:59% CL:33%	El DNA se puede transferir desde las superficies dentro de un automóvil a otros lugares por un conductor temporal. El DNA del conductor temporal y el DNA del conductor regular se pueden recuperar de las llaves dejadas fuera de un automóvil después de que un conductor temporal las haya usado.

NR	DOI	AÑO	AUTOR	PAÍS	TIPO DE ESTUDIO E* o R**	TÍTULO	OBJETIVO DEL ESTUDIO	TAMAÑO DE LA MUESTRA	TIPO DE SUSTRATO (SUPERFICIE)	TIPO DE TRANSFERENCIA	PERFILES GENÉTICOS REPORTADOS	HALLAZGO
21	http://dx.doi.org/10.1016/j.fsigen.2013.10.005	2013	Roland A.H	Australia	E	Persistence of DNA deposited by the original user on objects after subsequent use by a second person	Adquirir una mayor comprensión de la persistencia del DNA depositado por un usuario inicial en los objetos después de varios usos del elemento por parte de una segunda persona	153 objetos	Lapiceros y objetos cotidianos (porosos y no porosos)	Transferencia directa e indirecta persistencia	Mezcla de perfiles	Este estudio ha confirmado que, según el tipo de objeto, el área en cuestión y la forma de manipular el objeto, el DNA del segundo usuario puede transferirse rápidamente a un objeto y reemplazar el DNA de un usuario anterior. Es probable que esto se deba a que la transferencia simultánea del objeto al manipulador reduce la cantidad total de DNA presente inicialmente, así como a que el DNA inicial se convierte en una porción más pequeña de la cantidad total de DNA presente en el objeto después de ser manipulado por una segunda persona.
22	http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.11.0563	2020	Reith er Jack B	Australia	E	Investigation into the prevalence of background DNA on flooring within houses and its transfer to a contacting surface	Determinar la presencia y de quien proviene el DNA de fondo recuperado del piso dentro de diferentes habitaciones de casas con diferentes historias de ocupación, y la medida en que este DNA puede transferirse a una superficie secundaria después del contacto.	39 muestras	Pisos Alfombras	Transferencia directa e indirecta Persistencia	Perfiles únicos y mezclas de perfiles	La presencia de DNA de fondo dentro de un entorno doméstico, es probable que contribuya a recuperar el DNA de fondo y con facilidad puede transferirse a una superficie de contacto. La frecuencia con la que un área de una habitación es utilizada por uno o más ocupantes de la casa no afectó la cantidad de DNA que se obtuvo en una muestra del área o su contribución a un perfil de DNA, es decir, las áreas de mayor actividad no condujeron a una mayor (o menor) cantidad de DNA en comparación con áreas de menor actividad, y los ocupantes que se sabía que usaban un área en particular no siempre se observaron en los perfiles de DNA obtenidos. Con respecto a estos hallazgos, es probable que el nivel de actividad se correlacione con otros factores, como la frecuencia de este contacto con la piel desnuda en comparación con las cubiertas para los pies, y que clasificar el uso como alto y bajo no representa necesariamente el espectro de uso y es subjetivo.
23	https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2019.07.005	2019	Laura Otten	Alemania	E	Secondary DNA transfer by working gloves	Evaluar la transferencia secundaria del DNA de una persona a la escena del crimen a través de guantes de trabajo, teniendo en cuenta el estado de excreción del sospechoso, también clasificar a los participantes como buenos o malos excretores y finalmente evaluar la influencia potencial del estado de desprendimiento en el grado de transferencia secundaria de DNA.	40 personas	Tubos de plástico Guantes de nylon Destornilladores	Transferencia directa e indirecta	Perfil único y mezcla de perfiles	El estado de excreción de un individuo es un factor importante que influye en la transferencia primaria de DNA en lugar del orden en que diferentes personas manipulan un objeto. En el escenario presentado aquí, el DNA de una persona no involucrada se transfirió al objeto a través de una transferencia secundaria con guantes de trabajo convencionales. Sin embargo, debe mencionarse que se encontró una cantidad significativamente mayor de perfiles de mala calidad.
24	https://doi.org/10.1007/s00414-002-0348-1	2003	G. N. Rutty	Inglaterra	E	The effectiveness of protective clothing in the reduction of potential DNA contamination of the scene of crime	Este estudio informa las observaciones de una pequeña cantidad de experimentos realizados para investigar la posibilidad de contaminación del ADN de una escena del crimen bajo diferentes actividades simuladas por parte de una persona que asiste a la escena del crimen y considera el beneficio del equipo de protección estándar que se puede usar para reducir la contaminación	1 persona	Papel protector de superficie "Bench Kote"	Transferencia directa e indirecta	Perfiles únicos, mezclas de perfiles y perfiles parciales	Hubo menos contaminación al usar protección corporal en comparación con no usar ropa protectora con experimentos en movimiento, este hallazgo sugiere que el uso de protectores de ropa reduce el riesgo de contaminación de la escena del crimen por parte del investigador; los experimentos con el uso de una máscara redujo notablemente la contaminación en toda el área de prueba en cada caso, reduce el riesgo de contaminación de la boca y el sistema respiratorio, también, los experimentos muestran que la tos provocó contaminación en el área de prueba tanto en posturas de pie como de rodillas, pero el patrón de contaminación variaba según la postura del sujeto.
25	http://dx.doi.org/10.1016/j.fsigen.2017.07.012	2017	Pickrah n I	Austria	R	Contamination incidents in the pre-analytical phase of forensic DNA analysis in Austria-Statistics of 17 years.	Comparar el número de incidentes de contaminación generados por agentes de policía en la fase preanalítica del análisis forense de DNA con el número de muestras de la escena del crimen analizadas entre los años 2000 y 2016	Aprox. 46.000 muestras	Muestras forenses	Transferencia directa e indirecta	Perfiles únicos, mezclas de perfiles y perfiles parciales	Entre 2000 y 2016 se detectaron 347 incidentes de contaminaciones, demostrando el potencial y la importancia de las bases de datos de referencia que contienen perfiles de DNA de agentes de policía y examinadores para la detección de muestras contaminadas en la escena del crimen. Aunque los investigadores de la escena del crimen siguen siendo responsables de la mayoría de los incidentes de contaminación una capacitación constante para todos los oficiales de policía parece ser esencial, además todas las personas que manipulan material de prueba utilizado para el aislamiento de DNA deben seguir medidas estrictas para evitar contaminaciones
26	http://dx.doi.org/10.1016/j.fsigen.2015.09.238	2015	Pickrah n I	Austria	R	Contamination when collecting trace evidence—An issue more relevant than ever?	Comparar la cantidad de muestras analizadas de la escena del crimen con la cantidad de incidentes de contaminación detectados dentro de nuestro laboratorio entre los años 2000 y 2014.	Aprox. 40.000 muestras	Muestras forenses	Transferencia directa	Perfil único y mezcla de perfiles	Entre 2000 y 2014 se detectaron 258 contaminaciones de las muestras de la escena del crimen por parte de los examinadores y los oficiales de policía, por lo que sigue siendo un desafío en el análisis de material de rastro forense. Los resultados de este estudio demuestran el potencial y la importancia de las bases de datos de referencia que contienen perfiles de DNA de oficiales de policía y examinadores para la detección de muestras contaminadas en la escena del crimen.
27	https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2017.12.012	2018	Patrick Basset	Suiza	R	Lessons from a study of DNA contaminations from police services and forensic laboratories in Switzerland	Realizar un inventario nacional de contaminaciones para comprender mejor su origen y hacer recomendaciones para disminuir su ocurrencia, entre los años 2011 y 2015	5 laboratorios de DNA y 23 servicios policiales	Muestras forenses	Transferencia directa e indirecta	Mezcla de perfiles	Entre 2011 y 2015 se detectaron un total de 709 contaminaciones, por parte de los colaboradores de la policía se detectaron 8 veces más a menudo que las contaminaciones por parte de los empleados del laboratorio; estas pueden ocurrir en cada paso a lo largo de la cadena de análisis; desde la recogida en la escena del crimen o en la sala de examen, pasando por el transporte o el almacenamiento, hasta el análisis de DNA en el laboratorio de genética forense, sin embargo, nuestro análisis destaca que algunos de los pasos, como la recolección del DNA en la escena del crimen, requieren una atención especial.

Tabla 1. Descripción de los estudios de acuerdo con las variables analizadas: número de estudio (Nro), Doi, año, autor, país, tipo de estudio (E: Experimental; R: Retrospectivo) *, título, objetivo, tamaño de la muestra, tipo de transferencia, perfil genético obtenido y hallazgo

La evaluación de la calidad metodológica de estudios experimentales se realizó por medio del checklist for quasi-experimental (Appraisal Tool) proporcionado por JBI. Se obtuvo un 100% de cumplimiento en los ítems “*Se identificó de manera clara la causa el efecto*” y “*Se completó el seguimiento*”. Por otro lado, en el ítem “*Había un grupo control*”, se obtuvo un cumplimiento de 79%; y en el ítem “*la medición de los resultados de forma fiable*” el cumplimiento fue de un 92.7%. Finalmente, el cumplimiento de ítem “*se utilizó un análisis estadístico adecuado*” fue de un 79.2% (**Figura 2**).

Evaluación de la calidad metodológica de estudios experimentales

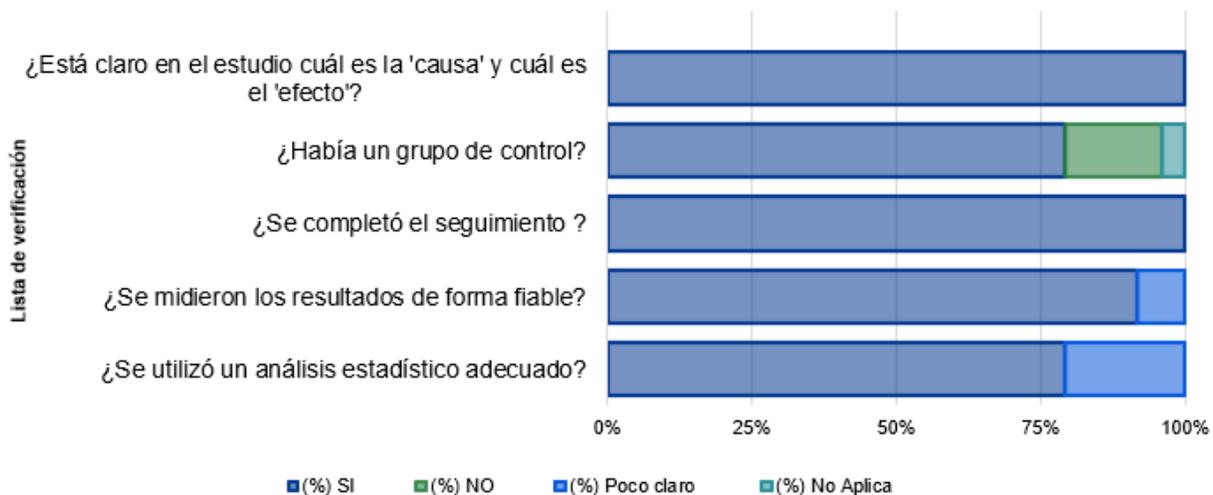


Figura 2. Evaluación de la calidad metodológica de estudios experimentales con checklist for quasi-experimental (Appraisal Tool). Lista de verificación aplicada a los estudios experimentales y su porcentaje de cumplimiento de cada uno de los ítems.

La evaluación de la calidad metodológica de estudios retrospectivos se realizó por medio del checklist for qualitative (Appraisal Tool) realizada por medio de la herramienta JBI. Se obtuvo un 100% de cumplimiento en la evaluación de los ítems “*hay consistencia entre la metodología de investigación y la pregunta u objetivos de investigación*”, “*Hay coherencia entre la metodología de investigación y los métodos utilizados para la recopilación de los datos*” y en el ítem “*Hay consistencia entre la metodología de investigación y la representación y análisis de datos*”.

En la evaluación del criterio “*existe congruencia entre la perspectiva filosófica enunciada y la metodología de investigación*” se obtuvo un cumplimiento de 66.7%.

Finalmente, en la evaluación de los criterios “*Existe coherencia entre la metodología de investigación y la interpretación de los resultados*” y “*Las conclusiones extraídas en el informe de investigación que surgen del análisis o de la interpretación de los datos*” se obtuvo un cumplimiento de 66.7 % (**Figura 3**).



Figura 3. Evaluación de la calidad metodológica de estudios retrospectivos

Evaluación de la calidad metodológica de estudios experimentales con checklist for qualitative (Appraisal Tool). Lista de verificación aplicada a los estudios experimentales y su porcentaje de cumplimiento de cada uno de los

Al analizar la variable de perfiles genéticos obtenidos en los estudios, se identificó que el 36.5% reportaron la obtención de perfiles únicos, 44,2 % fueron mezclas de perfiles y el 17.3% fueron perfiles parciales. Uno de los estudios revisados, no reporta los perfiles que obtuvieron, sino el porcentaje de muestras con material genético detectado (1.9%) (**Figura 4**).

Perfil genético reportado

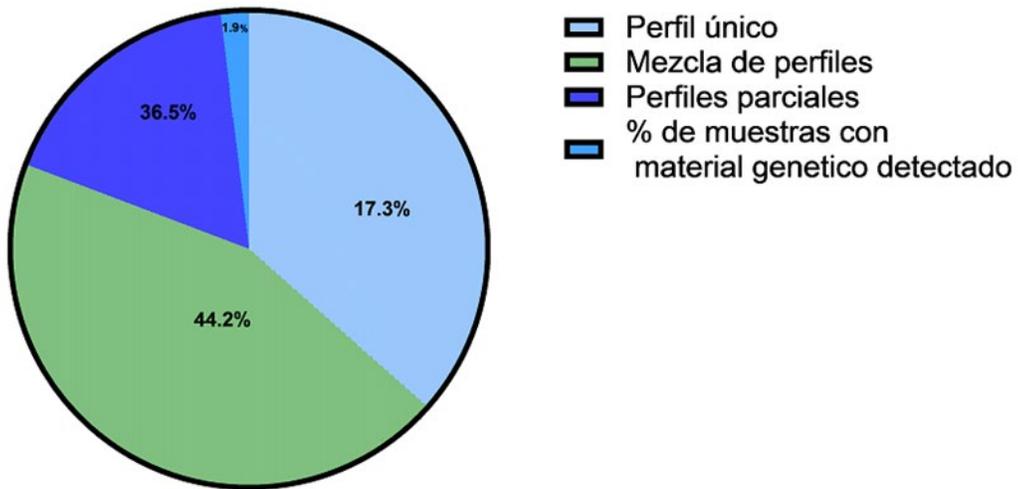


Figura 4. Distribución porcentual de los perfiles genéticos reportados en los artículos; perfiles únicos, mezclas de perfiles y perfiles parciales.

Al evaluar la información obtenida de la variable “tipo de transferencia”, se observó que el 18.5% de los artículos reportaron únicamente transferencia directa, 3.7% únicamente transferencia indirecta y el 77.7% restante reportaron ambos tipos de transferencia (**Figura 5**).

Tipo de transferencia

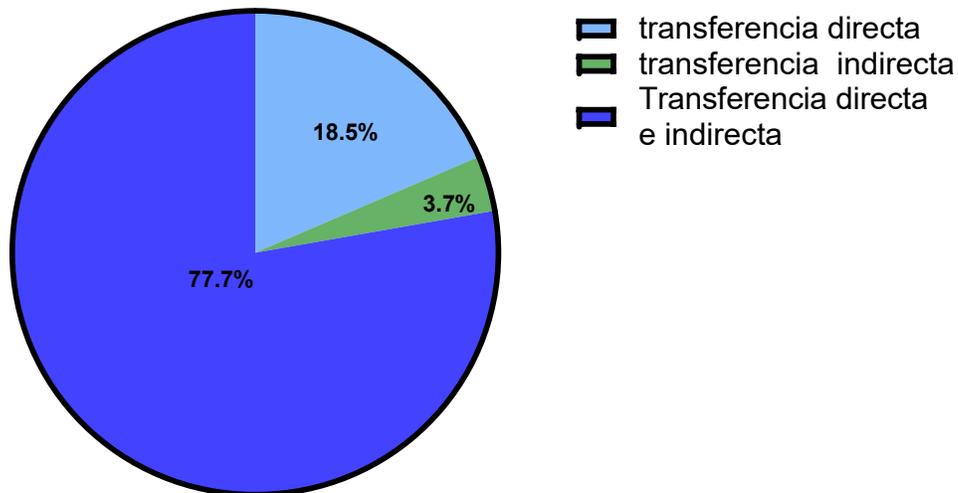


Figura 5. Distribución porcentual de los tipos de transferencia reportada en los artículos: directa, indirecta y ambas

Finalmente, analizando la información respecto a la temporalidad de los estudios publicados, observamos que en Austria se publicaron dos artículos, uno en el 2015 y otro en 2017; en Suecia un artículo en el 2022; en Suiza dos artículos, 2016 y 2018 respectivamente; en Australia doce artículos publicados en 2009, 2010, 2013, 2016, 2018, 2019, 2020, 2022; en Italia tres artículos en 2014, 2019 y otro en 2023; en Nueva Zelanda un artículo en el 2007; en países bajos un artículo en el 2016; en Noruega un artículo en el 2007; en Reino Unido un artículo en el 2003, en Tailandia un artículo en el 2019 y en Alemania dos artículos en el 2007 y en el 2019. Los estudios retrospectivos fueron publicados en los años 2015, 2017 y 2018, los demás son estudios experimentales. (Figura 6).

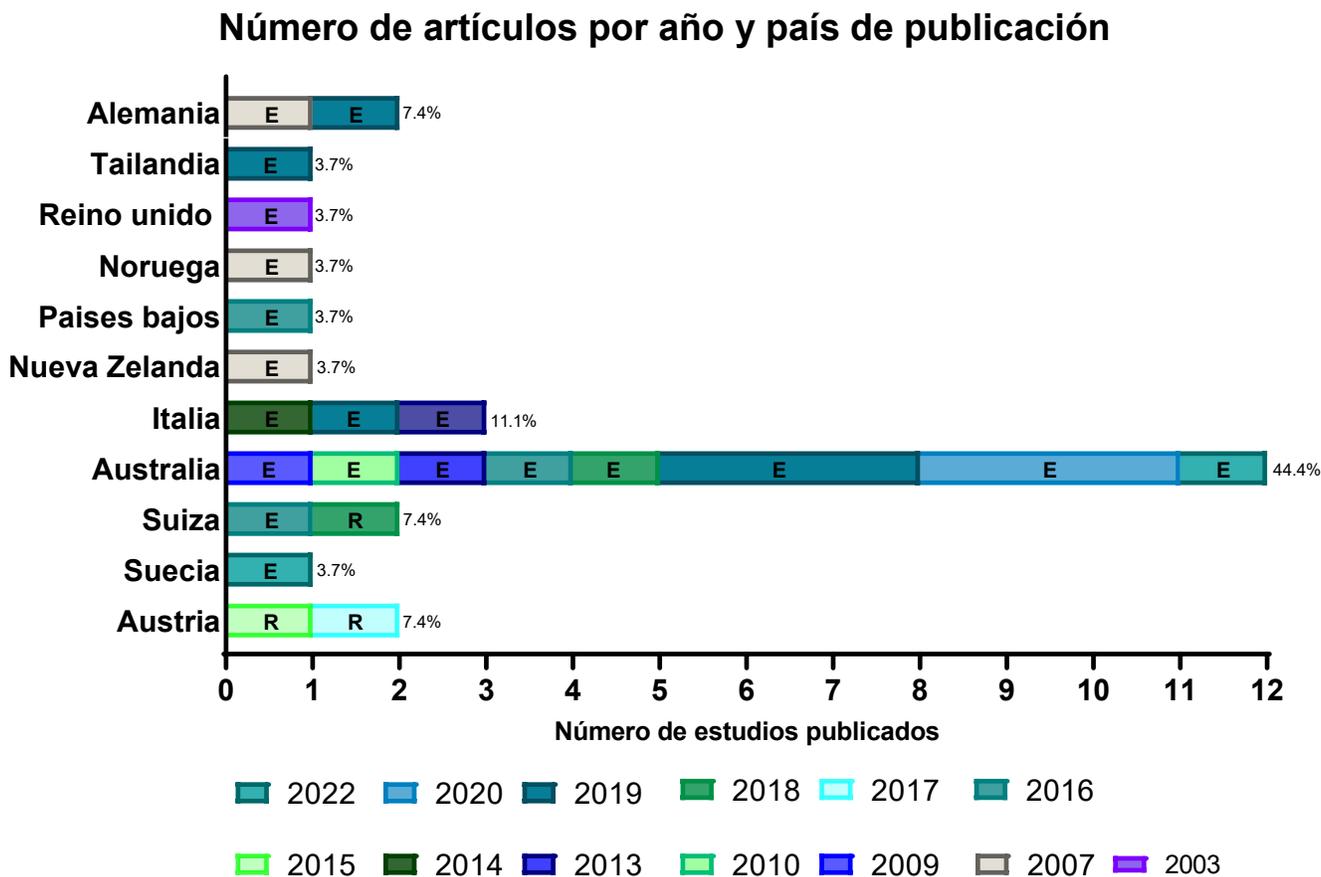


Figura 6. Número de estudios publicados por país y año de publicación y la clasificación del tipo de estudio; experimental (E) y retrospectivo (R).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En esta revisión sistemática se revisaron publicaciones originales que reportan la posibilidad de transferir DNA en las muestras biológicas susceptibles de análisis genético. La metodología usada permitió obtener, evaluar y sintetizar los resultados de varios estudios permitiendo identificar las hipótesis y los hallazgos obtenidos de estas, sin embargo, hubo limitaciones al analizar la evidencia debido a la misma complejidad y diversidad metodológica abordada en los estudios, al considerar los múltiples factores que pueden afectar la transferencia de DNA, ya que solo se tenían en cuenta algunas condiciones de acuerdo al experimento que se llevaba a cabo y el evento que querían simular. Otra limitación es la variabilidad de los estudios, puesto que tienen ensayos y resultados individuales lo cual no permite llevar esta revisión a un meta-análisis.

El análisis de los estudios experimentales permitió identificar que a partir de una secuencia de experimentos controlados, es posible simular y detectar la transferencia de DNA, así como identificar que existen factores que pueden favorecer la persistencia de ese DNA en las superficies dependiendo de sus características. No obstante, en la publicación de Ruty (2003) y Szkuta (2019), reportaron que a pesar de trabajar bajo protocolos de bioseguridad, se encontró el perfil genético de una de las personas que participó en alguna de las etapas del proceso. También, es importante destacar el papel que cumplen las prendas de vestir en la transferencia de material genético, ya que se encontró que en ocho de las publicaciones de artículos experimentales analizados, reportaron la recuperación DNA de prendas de vestir e identificaron que éstas favorecen la contaminación por acumular DNA que puede ser transferido por un contacto, proximidad e incluso ausencia de contacto directo (Reither 2022; Szkuta 2020; Ruan 2018; Sessa 2019; Szkuta 2019; De Wolff 2019; Berge 2016; y G. N. Ruty 2003). Por otro lado, es importante resaltar que la sensibilidad de las tecnologías usadas en los laboratorios de genética forense, ha favorecido la recuperación de pequeñas cantidades de DNA, es decir, esta sensibilidad en equipos y kits de amplificación, permite detectar material genético transferido accidentalmente.

De acuerdo con los resultados de los estudios retrospectivos, las nuevas técnicas han permitido detectar que la mayor cantidad de contaminaciones reportadas de los EMPs es

aportada por funcionarios de la policía. En el estudio realizado por Pickrahn 2015 entre los años 2000 y 2014, se detectaron 258 contaminaciones generadas por parte de los examinadores y los oficiales de policía, mientras que en su publicación de 2017, reporta que entre los años 2000 y 2016 se detectaron 347 incidentes de contaminaciones, que contienen perfiles de DNA de agentes policiales, al igual que lo reportado por Patrick Basset (2018), quien reportó que entre los años 2011 y 2015, se identificaron un total de 709 contaminaciones, siendo 8 veces más frecuente la detección de perfiles genéticos provenientes de personal de la policía que de los laboratoristas. Adicionalmente, se evidencia que personal que no fue asignado a la investigación del caso y que en algún momento tuvo contacto con el embalaje, instrumentos de recolección o el almacenamiento, pudo transferir material genético a las evidencias, por consiguiente, es posible obtener sus perfiles genéticos, los cuales pueden erróneamente ser consignados en un informe pericial e ingresados en una base de datos de perfiles genéticos. En estos estudios se pudo evidenciar el reporte del perfil contaminante en los casos analizados, con posteriores cotejos entre muestras de referencia y perfiles ingresados en bases de datos. Esto refleja los riesgos que conlleva la transferencia de DNA en las evidencias biológicas dado que no siempre el perfil reportado en un informe pericial de genética forense puede provenir del contacto directo, es por ello que también se recomienda el uso de softwares como GeneMapper ya que esta herramienta ayuda a identificar incidentes de contaminación.

Es posible obtener perfiles que no sean de interés en la investigación posterior a una transferencia accidental, por ejemplo, en la investigación forense un perfil único podría estar relacionado con la persona responsable del manejo de los EMP y EF en algunas de las etapas del proceso, sin embargo, también se obtienen mezclas o perfiles parciales que pueden ser aportados por medio de contaminación directa o indirecta por parte del resto del personal. Esto nos demuestra la importancia de conocer los mecanismos de transferencia durante el manejo de las muestras, lo cual aportaría en la implementación de medidas y estrategias para el mejoramiento de prácticas de manipulación en el proceso de recolección, embalaje, procesamiento y almacenamiento, usando adecuadamente los equipos de protección individual, así como no reutilizar guantes y realizar procesos constantes de limpieza exhaustiva de equipos e instrumentos utilizados.

El aumento en la sensibilidad de las técnicas utilizadas también permite detectar DNA que no está relacionado con el hecho investigado, como lo menciona Gill en un estudio realizado en Noruega en el 2018, donde argumentan que es posible detectar pequeñas cantidades de DNA de forma rutinaria y este material recuperado puede ser irrelevante, ya que puede ser DNA de fondo o producto de una transferencia secundaria. Este mismo autor considera que la presencia del DNA no indica ni cuándo ni de qué manera fue depositado el DNA, por ello hace énfasis en la importancia de que científicos, abogados y jueces sean conscientes de las limitaciones de las pruebas de perfiles de DNA. En este mismo sentido, Sessa y colaboradores (2019), destacan que todo el personal médico-legal debe conocer el poder del DNA de contacto y comprender sus posibles limitaciones **(17,18)** y debido al carácter imparcial que rigen las instituciones estatales, se requiere que el personal involucrado esté capacitado para comprender, explicar e interpretar perfiles producto de transferencia directa o indirecta en elementos materiales probatorios analizados e informados.

Como se muestra en la figura 6, los artículos seleccionados para esta revisión sistemática, son principalmente provenientes de Europa (13 artículos, que corresponden al 48.1%) y Oceanía (13 artículos, que corresponden al 48.1%); de éstos últimos, el 92.3% (12 artículos) son de Australia, lo que nos lleva a considerar la falta de investigación del tema en América y principalmente en América Latina. Es importante mencionar que, aunque la búsqueda sistemática no tuvo limite en idiomas, ésta no arrojó resultados de publicaciones provenientes de países de América ni América Latina. De acuerdo con esta revisión podemos concluir que se requiere contar con más estudios en donde reporten la importancia de identificar cómo se dan las transferencias de material genético que permitan tomar medidas para evitarlas o minimizarlas, ya que esto puede conllevar a una contaminación, por ende, a una interpretación inadecuada de los resultados.

Esta revisión abre la puerta para que en los laboratorios forenses que aportan información a la administración de justicia, se proponga la perfilación no solamente de las personas responsables de los análisis de laboratorio, sino también de todo el personal involucrado en el proceso desde la recolección de las evidencias, con el fin de realizar búsquedas permanentes para controlar la información que va a ser emitida antes de dar a conocer un informe pericial a la autoridad. Asimismo, proponer la continuación de la investigación con

estudios experimentales que permitan profundizar y tomar medidas preventivas en los laboratorios de genética forense en Colombia.

Otra información

El registro de la revisión sistemática se realizó a través de PROSPERO (International prospective register of systematic reviews) ID CRD42023438592.

Financiación

El presente estudio fue apoyado por el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses y La Universidad de Antioquia, mediante convenio de cooperación interinstitucional mediante con la contraprestación de funcionarios y docentes en el proceso de prácticas académicas profesionales de los estudiantes de Microbiología y Bioanálisis, Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés en el presente estudio.

Agradecimientos

A las profesoras Alexandra Milena Cuartas López y Luz Stella Peñuela Arroyo, por su dedicación y paciencia, sin su acompañamiento durante la realización de este trabajo no hubiéramos podido llegar a este anhelado momento, gracias por todas sus enseñanzas, consejos y gran disposición.

Al laboratorio de Genética Forense del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses de la Regional Noroccidente en Colombia, por ofrecer sus instalaciones y talento humano como escenario de prácticas profesionales.

REFERENCIAS

1. Stasi A, Mir T ul G, Pellegrino A, Wani AK, Shukla S. Forty years of research and development on forensic genetics: A bibliometric analysis. *Forensic Sci Int Genet.* 2023;63:102826.
2. Zagorski N. Profile of Alec J. Jeffreys. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2006;103(24):8918-20.
3. Rangel DHV. *Las pruebas de ADN en el contexto forense.* 2017;
4. Burrill J, Daniel B, Frascione N. A review of trace “Touch DNA” deposits: Variability factors and an exploration of cellular composition. *Forensic Sci Int Genet.* 2019;39:8-18.
5. Taylor D, Biedermann A, Samie L, Pun KM, Hicks T, Champod C. Helping to distinguish primary from secondary transfer events for trace DNA. *Forensic Sci Int Genet.* 2017;28:155-77.
6. Gosch A, Courts C. On DNA transfer: The lack and difficulty of systematic research and how to do it better. *Forensic Sci Int Genet.* 2019;40:24-36.
7. van Oorschot RAH, Szkuta B, Meakin GE, Kokshoorn B, Goray M. DNA transfer in forensic science: A review. *Forensic Sci Int Genet.* 2019;38:140-66.
8. Decorte R, Liu CF, Vanderheyden N, Cassiman JJ. Development of a novel miniSTR multiplex assay for typing degraded DNA samples. *Forensic Sci Int Genet Suppl Ser.* 2008;1(1):112-4.
9. Hudlow WR, Chong MD, Swango KL, Timken MD, Buoncristiani MR. A quadruplex real-time qPCR assay for the simultaneous assessment of total human DNA, human male DNA, DNA degradation and the presence of PCR inhibitors in forensic samples: A diagnostic tool for STR typing. *Forensic Sci Int Genet.* 2008;2(2):108-25.
10. Fonnelløp AE, Johannessen H, Egeland T, Gill P. Contamination during criminal investigation: Detecting police contamination and secondary DNA transfer from evidence bags. *Forensic Sci Int Genet.* 2016;23:121-9.
11. Ratty GN, Watson S, Davison J. DNA contamination of mortuary instruments and work surfaces: a significant problem in forensic practice? *Int J Legal Med.* 2000;114(1-2):56-60.
12. Fonnelløp AE, Egeland T, Gill P. Secondary and subsequent DNA transfer during criminal investigation. *Forensic Sci Int Genet.* 2015;17:155-62.
13. Meakin G, Jamieson A. DNA transfer: Review and implications for casework. *Forensic Sci Int Genet.* 2013;7(4):434-43.

14. Szkuta B, Harvey ML, Ballantyne KN, van Oorschot RAH. DNA transfer by examination tools – a risk for forensic casework? *Forensic Sci Int Genet.*;16:246-54.
15. Lapointe M, Rogic A, Bourgoïn S, Jolicoeur C, Séguin D. Leading-edge forensic DNA analyses and the necessity of including crime scene investigators, police officers and technicians in a DNA elimination database. *Forensic Sci Int Genet.* 2015;19:50-5.
16. Lehmann V, Mitchell R, Ballantyne K, Oorschot R van. Following the transfer of DNA: How does the presence of background DNA affect the transfer and detection of a target source of DNA? *Forensic Sci Int Genet.* 2015;19:68-75.
17. Sessa F, Salerno M, Bertozzi G, Messina G, Ricci P, Ledda C, et al. Touch DNA: impact of handling time on touch deposit and evaluation of different recovery techniques: An experimental study. *Sci Rep.* 2019;9:9542.
18. Gill P. DNA evidence and miscarriages of justice. *Forensic Sci Int.* 2019;294:e1-3.