

Trazas de ADN y su implicancia en la obtención de perfiles genéticos: Revisión bibliográfica.

Trace DNA and its implication in obtaining genetic profiles: bibliographic review.

Lucio Alfonso Chirillano¹. <https://orcid.org/0000-0003-3411-4746>

Paola Gisele D'Agostino de Salazar¹. <https://orcid.org/0000-0003-0295-3756>

Pablo Elías De la Sota¹. <https://orcid.org/0000-0003-1610-371X>

Marta Cecilia Etcheverry¹. <https://orcid.org/0000-0002-9596-5037>

Cristian Ariel De Candia^{1*}. <https://orcid.org/0000-0002-8438-0420>



¹ Ministerio de Seguridad de la Provincia de Buenos Aires, Superintendencia de Policía Científica, Dirección Química Legal, Departamento de Genética Forense, Buenos Aires, Argentina.

*Correspondencia a: cristianariel.decandia@mseg.gba.gov.ar

RESUMEN

Introducción: El aumento en la sensibilidad de las técnicas empleadas ha permitido la obtención de perfiles genéticos a partir de trazas de ADN que se hayan depositado mediante contacto antes, durante o después de la comisión de los hechos investigados. Por otro lado, la contaminación accidental de los indicios biológicos, con la consecuente interpretación errónea de los resultados genéticos, tienen importantes consecuencias en el proceso judicial. Debido a ello, minimizar las contaminaciones que se pueden generar durante algunas de las fases de recolección o análisis genético, como así también la detección de estos eventos, es una prioridad para los laboratorios forenses. **Objetivo:** analizar las publicaciones más relevantes respecto a las trazas de ADN, los diferentes tipos de transferencia y contaminación que se pueden obtener en una evidencia. **Metodología:** se realizó la búsqueda en PubMed, del Instituto Nacional de Salud (NIH), y Google Académico usando las palabras clave en español e inglés: ADN de toque, Transferencia de ADN, Contaminación, Trazas, DNA-TTPR, Persistencia del ADN, Perfiles genéticos contaminados. **Resultados:** se encontraron más de 500 trabajos relacionados a la temática propuesta en esta revisión. El criterio de selección fue el número de citas, el enfoque y el impacto de estos. Se analizaron 71 artículos donde evaluaron la composición de las muestras de contacto y el origen del material genético que contienen. Además, de las metodologías de recolección, análisis de dichas muestras, la importancia que tiene la transferencia y contaminación del ADN en distintos escenarios

PALABRAS CLAVE

Genética forense, Trazas de ADN, Transferencia, Contaminación, ADN-TTPR

KEYWORDS

Forensic genetics, Trace DNA, Transfer, Contamination, DNA-TTPR.

CITAR COMO

Chirillano LA, D'Agostino de Salazar PG, De la Sota PE, Etcheverry MC, De Candia A. Trazas de ADN y su implicancia en la obtención de perfiles genéticos: Revisión bibliográfica. Rev. cienc. forenses Honduras. 2022; 8 (2):15-28. doi:10.5377/rcfh.v8i2.15968

HISTORIA DEL ARTÍCULO

Recepción: 7-02- 2022

Aprobación: 4-03- 2022

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERÉS, RELACIONES Y ACTIVIDADES FINANCIERAS O COMERCIALES

Ninguna

posibles. **Conclusión:** existe riesgo de transferencia de ADN que puede conducir a resultados erróneos, por lo tanto es importante asegurar la actualización de los procedimientos de la práctica y brindar la capacitación adecuada para garantizar que el personal policial y del que recolecta indicios sea consciente de los riesgos de contaminación y de los diferentes mecanismos de transferencia de material genético.

ABSTRACT

Introduction: The increase in the sensitivity of the techniques used has made it possible to obtain genetic profiles from DNA traces that have been deposited through contact before, during or after the commission of the investigated acts. On the other hand, accidental contamination of biological evidence, with the consequent misinterpretation of genetic results, has important consequences in the judicial process. Due to this, minimizing the contamination that can be generated during some of the phases of collection or genetic analysis, as well as the detection of these events, is a priority for forensic laboratories. **Objective:** analyze the available bibliography regarding DNA traces, the different types of transfer and contamination that can be obtained in evidence.

Methodology: the search was carried out in PubMed, from the National Institute of Health (NIH), and Google Scholar using the keywords touch DNA, DNA transfer, Contamination, Traces, DNA-TTPR, DNA persistence, Contaminated genetic profiles. The search was carried out in both Spanish and English. **Results:** More than 500 papers related to the topic proposed in this review were found. The selection criteria were the number of citations, the approach and the impact of the papers. Seventy articles were analyzed in which the composition of the contact samples and the origin of the genetic material they contain were evaluated. In addition, the collection methodologies, analysis of these samples, the importance of DNA transfer and contamination in different possible scenarios.

Conclusions: there is a risk of DNA transfer that can lead to erroneous results, therefore it is important to ensure that practice procedures are updated and adequate training is provided to ensure that police and evidence collectors are aware of the risks of contamination and the different mechanisms of transferring genetic material.

INTRODUCCIÓN

Los indicios biológicos provenientes de muestras de descamación epitelial representan una importante fuente de ADN para la identificación de individuos. La superficie de la piel humana contiene aproximadamente seis millones de células por centímetro cuadrado¹, de las cuales una media de 400.000 se desprende o descaman por día². Este proceso de "pérdida" de células por una persona puede provocar que el autor de un crimen haya descamado una cantidad de células suficientes para obtener su perfil genético e identificarlo. En 1997, van Oorschot y Jones informaron que se podía obtener un perfil genético a partir de objetos tocados³. Esto abrió un abanico de posibilidades para estudiar la transferencia directa de diversos indicios hallados en la escena del crimen. Este ADN de contacto se conoce como ADN traza o ADN de toque (touch DNA) o de bajo número de copias (Low Copy Number) debido la escasa cantidad de ADN que se puede obtener en una muestra dubitada, de aproximadamente menos de 0,1 ng (nanogramo) o 15 células diploides⁴. Otros autores lo definen como una muestra con menos de 0,2 ng o 30 células diploides⁵. Actualmente los kits comerciales para amplificar el ADN por PCR requieren una cantidad óptima de 0,5 a 2,5 ng de ADN extraído^{6,7}. El aumento en la sensibilidad de las técnicas empleadas para obtener un perfil genético ha permitido no sólo analizar tejidos, fluidos sino también trazas biológicas de contacto que son obtenidas por transferencia de material genético a superficies de toque o de contacto⁶⁻⁸.

La mayor parte de las evidencias que son analizadas consisten en hisopados que representan muestras únicas. Dada la escasa cantidad de material genético que contienen, la muestra se procesa en su totalidad, por lo que se agota la misma y su análisis toma el carácter de irreproducible. Aproximadamente en el 23% de este tipo de muestras se logra la obtención de perfiles genéticos aptos para cotejar con

muestras de referencia o indubitadas ⁹.

El análisis y procesamiento de la escena de un crimen debe prestar especial atención a la búsqueda y recolección de las muestras de descamación epitelial. El trabajo en el lugar para recoger las evidencias biológicas puede tener incluso más relevancia que el propio análisis de ADN de las muestras recogidas. El éxito en el análisis de las trazas biológicas es altamente variable, condicionado por múltiples factores entre los que destacan los tiempos que median entre el depósito de las evidencias y su recogida, entre ésta y el análisis de ADN, las características fisiológicas del donante, su sexo y edad, la superficie a la que se adhieren las células epiteliales, las condiciones ambientales de exposición de las muestras previas a su recolección, la zona del cuerpo que contacta la superficie e incluso el modo de contacto del individuo con la superficie¹⁰⁻¹⁶.

Recientemente, se acuñó el término DNA-TPPR, para hacer referencia a la transferencia, persistencia, prevalencia y recuperación del ADN de muestras biológicas.

El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión bibliográfica tipo narrativa respecto al DNA-TPPR, su impacto en el campo forense con énfasis en la transferencia o contaminación del material genético.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada fue de carácter descriptivo/exploratorio. Las bases de datos consultadas fueron: PubMed del Instituto Nacional de Salud (NIH) y Google Académico. Las palabras clave en inglés y español para la búsqueda fueron: ADN de toque, Transferencia de ADN, Contaminación, Trazas, DNA-TPPR, Persistencia del ADN, Perfiles genéticos contaminados. Se encontraron más de 500 artículos de los cuales 71 se utilizaron para el análisis.

Definiciones

Las muestras de ADN de contacto pueden ser definidas en base a la cantidad de ADN recolectado de las mismas o al mecanismo que las generó. Asimismo, para cada una de estas clases de definición, existen diferencias de criterio.

En relación con la cantidad de ADN recolectado, se entiende a las muestras de ADN de contacto o ADN de toque como aquellas muestras que contienen menos de 0,1 ng (equivalente a 15 células diploides)⁴, o como las muestras

con menos de 0,2 ng (equivalente a 30 células diploides)⁵.

En base al mecanismo que las generó, se puede definir como todas aquellas muestras en las cuales el ADN es depositado por el contacto de una persona sobre una superficie, objeto u otro individuo^{11, 17}. Otra definición encontrada en la bibliografía incluye a todas las muestras biológicas con bajo contenido de ADN que no pueden ser atribuidas a un fluido corporal específico, ya que se asume que el contacto fue la forma de deposición¹⁸. Sin embargo, esta definición no contempla la posibilidad de transferencia, o la deposición de ADN sin contacto como, por ejemplo, al hablar, toser, estornudar, etc.^{19 - 22}.

Por último, van Oorschot y colaboradores en su revisión sobre el tema, proponen el término de trazas de ADN para definir a cualquier muestra biológica que se encuentre por debajo de los umbrales recomendados en cualquier fase del análisis ²³. No obstante, todos los términos mencionados hacen referencia a muestras biológicas invisibles con cantidades de ADN limitadas. De manera tal que trazas, ADN de toque o contacto son sinónimos y se los puede emplear de forma indistinta. Para fines de esta revisión utilizaremos el término "**traza de ADN**".

La cada vez mayor importancia de las muestras de traza de ADN se pone en evidencia al considerar la cantidad de veces que los individuos tocan o realizan contactos con diferentes elementos. Por ejemplo, durante las actividades diarias cotidianas, se ha determinado que un individuo realiza aproximadamente 15 toques por minuto (tpm) con su mano hábil ²⁴, tanto de objetos propios (incluyendo el individuo mismo) como no propios (incluyendo otros individuos). En el caso de robos e intentos de robos ²⁵, se analizaron los toques realizados por los perpetradores de los hechos.

En el caso de hechos llevados a cabo mediante el uso de armas, se determinó que el perpetrador realizó aproximadamente 5 tpm de elementos

Con la mano hábil y 12 tpm con la mano inhábil. La mayoría de los toques de la mano hábil fueron a objetos propios, mientras que los de la mano inhábil son a objetos no propios. En el caso de hechos llevados a cabo sin armas, el perpetrador realizó aproximadamente 9 tpm con la mano hábil y 12 tpm con la mano inhábil. La mayoría de todos los toques fueron realizados sobre objetos no propios, y muchos de los contactos fueron repetidos sobre un mismo objeto o superficie. Al comparar las cantidades de toques por minuto realizados por individuos en condiciones cotidianas y al llevar a cabo un hecho delictivo podemos ver que, aunque la cantidad de toques es menor en el segundo caso (como es de esperar), el valor sigue siendo sustancial. Esto pone en evidencia la cantidad de muestras que pueden ser recolectadas del lugar del hecho.

Antecedentes

Las primeras explicaciones del origen de las trazas de ADN consideraban a las células de descamación epidérmicas como la fuente de estas. Se estima que la piel humana contiene aproximadamente unas 6.000.000 de células por centímetro cuadrado (en total 110.000.000.000 células epiteliales en un individuo)¹, y que, del estrato córneo, la capa más externa de la piel, se desprenden o descaman aproximadamente 400.000 células por día (casi 280 células por minuto)². Aunque existe una gran diversidad en los valores publicados en los distintos estudios, algunos autores indican que 20 células de descamación recolectadas de una muestra es una cantidad suficiente para obtener un perfil genético²⁶.

Actualmente se considera que la principal fuente del ADN de estas muestras no es el material genético contenido en estas células. La capa de descamación epidérmica está constituida por corneocitos, células que durante su proceso de diferenciación sufren importantes modificaciones estructurales, una de las cuales es la pérdida de su núcleo. Esto explicaría porque la cantidad total de ADN obtenido de este tipo de muestras no se correlaciona directamente al número de células contenidas en la misma, sino que la mayor proporción del ADN recuperado es ADN

libre celular o extracelular^{15, 27}. Recientemente, mediante citometría de flujo y microscopía se demostró que, aunque los corneocitos de las manos son células anucleadas, se tiñen con colorantes para ADN²⁸. Se ha propuesto que dicha tinción se debe a fragmentos de ADN extracelular adheridos a la membrana celular. El ADN extracelular presente en las manos de un individuo proviene de contactos "ambientales" y no de la propia descamación epidérmica, aunque este ADN acelular es "propio"²⁹, pudiendo provenir de las secreciones sebáceas,

sudoríparas o la saliva^{15, 28}, el cual es transferido a las manos por contacto con las distintas partes del cuerpo como, por ejemplo, la cara³⁰. La cantidad de ADN extracelular presumiblemente está más relacionada a factores extrínsecos (ambiente, actividad, etc.) que a factores intrínsecos del individuo²⁷.

Aunque la principal fuente de ADN es extracelular, se ha demostrado que los corneocitos contienen fragmentos de ADN en su interior, sin embargo, este ADN se encuentra fragmentado, y el tamaño

“
La cada vez mayor importancia de las muestras traza de ADN se pone en evidencia al considerar la cantidad de veces que los individuos tocan o realizan contactos con diferentes elementos. Se estima que durante las actividades diarias un individuo realiza aproximadamente 15 toques por minuto con su mano hábil
”

“

Cuando el ADN se deposita en un objeto de manera directa se denomina “transferencia primaria”. Por el contrario, cuando el ADN se deposita a través de uno o varios artículos intermedios que hacen de vectores, este se deposita de manera indirecta, lo que se denomina “transferencia de nivel secundario, terciario o superior”.

”

dificulta la amplificación de marcadores STR de alto peso molecular (mayores a 220 pares de bases)³¹. Esta fragmentación podría explicar la falta de correlación entre la cantidad de ADN en este tipo de muestras y la posibilidad de obtener perfiles genéticos completos. Se ha determinado que, dependiendo del método de recolección de la muestra y amplificación de los marcadores STR, se requieren entre 800 y 8000 corneocitos para poder obtener un perfil genético completo³². Este hecho concuerda con la observación realizada respecto a que el ADN extracelular puede ser de gran utilidad para la obtención de perfiles genéticos, por lo que debe ser tomado en cuenta que el mismo no se pierda durante el proceso de extracción y purificación³³.

Metodologías utilizadas

Para la recolección de este tipo de muestras, se utilizan diferentes elementos (hisopos del algodón, de nylon, cintas adhesivas, tarjeta FTA, etc.) y metodologías (vacío, hisopado simple, doble hisopado, con hisopos secos, con hisopo húmedo, por fricción, por rodamiento, etc.), dependiendo de la disponibilidad de elementos y de la superficie sobre la que se encuentra depositada la muestra. Asimismo, también existen diferentes metodologías de purificación de ADN y amplificación de marcadores moleculares.

El uso de las distintas combinaciones de todos los elementos y metodologías analíticas ha arrojado diferentes resultados en cuanto a la posibilidad de recuperación de ADN y obtención de perfiles genéticos^{13, 17, 32, 34 - 50}. La gran cantidad de trabajos e información que contienen, el análisis detallado de los mismos excede el objetivo de la revisión, sin embargo, puede observarse que la investigación para mejorar la recolección y análisis de este tipo de muestras está siendo impulsada ampliamente, dada su cada vez mayor relevancia en la investigación de hechos delictivos. Debido a que se trata muchas veces de muestras únicas, y a la naturaleza de estas, las diferentes metodologías disponibles de recolección deben ser estudiadas detenidamente, a fin de seleccionar las más adecuadas en cada escenario.

Aplicaciones en la investigación y limitantes

En los diferentes lugares del hecho y/o escenas del crimen podemos encontrar vestigios biológicos de interés

de dichos fragmentos criminal, tal como lo expresa el Principio de Locard, por el contacto entre víctima/s, victimario/s y la escena. Las diferentes muestras de origen biológico que son recolectadas y preservadas son evidencias que potencialmente pueden ser utilizadas para incluir o excluir a un determinado individuo de la participación de un delito en particular. La transferencia de ADN se puede producir entre personas, personas y objetos, personas y superficies, objetos y superficies o entre objetos. Esta transferencia puede acontecer en distintos momentos; los mecanismos y fuentes son diversos. La transferencia de material genético puede producirse:

- a) Antes a los hechos investigados, por ejemplo, compartir un cigarrillo, tomar mate, el uso de utensilios de cocina en un domicilio.
- b) Durante el hecho, por ejemplo, restos de sangre mezclados producto de la agresión entre dos o más individuos, restos de semen en cavidades de la víctima, en casos de abuso sexual, restos celulares de un agresor en las uñas de una víctima.
- c) Posterior al hecho, por ejemplo, cuando la metodología y embalaje de las muestras no es la adecuada.

En los dos primeros escenarios, la transferencia de ADN es inevitable; sin embargo, en el tercer escenario, la que se produce tras haber ocurrido los hechos investigados, es evitable y habitualmente ocurre de manera accidental. Cuando el ADN se deposita en un objeto o persona de manera directa se denomina transferencia primaria. Por el contrario, el ADN puede depositarse en un objeto o persona a través de uno o varios artículos intermedios que hacen de vectores, por lo que se deposita de manera indirecta, lo que se denomina transferencia de nivel secundario, terciario o superior. En estos casos no ha habido contacto físico entre el depositante original y la superficie final en la que se ubicó el perfil de ADN. La transferencia directa o primaria incluye el contacto, pero también incluye actividades dentro de la vecindad de un elemento, como hablar, toser y estornudar¹⁰.

En relación a la transferencia directa, muchas veces se obtiene un bajo porcentaje de perfiles genéticos, lo que puede deberse a que no siempre existe una

transferencia exitosa de ADN. Lowe y colaboradores demostraron que de 30 individuos que manipularon durante 30 segundos un tubo estéril, solamente 12 habían transferido su ADN⁵¹. Otro trabajo demostró que, de 29 muestras de estrangulación simuladas, solamente 19 dieron resultados de ADN⁵². Raymond y colaboradores observaron que de 252 muestras tocadas con las manos, en el 44% no se obtenía un perfil genético⁵³. Por último, un estudio de Castella y Mangin donde analizaron los resultados de 1739 huellas de contacto, mostraron que sólo en el 26% se podía obtener un perfil apto para cotejo⁵⁴.

La transferencia secundaria se produce cuando un material depositado en un artículo o persona se transfiere a otro artículo o persona o a un lugar diferente en el mismo artículo o persona, sin haber contacto físico entre el depositante original y la superficie final en la que se encuentra el material.

Cualquier sustancia biológica como sangre, semen, cabello, saliva y orina se puede transferir de esta manera. Cuando una sustancia biológica que se ha transferido varias veces, si es detectable, puede aparecer como componente de perfiles genéticos complejos. Esto se debe a que los vectores (como las manos o los implementos) que ayudan a la transferencia, y/ o el sustrato del que finalmente se recolecta, también pueden tener ADN⁸. A veces, el vector puede no tener ADN y esto podría complicar aún más la interpretación. Un estudio encontró que podría haber una transferencia terciaria cuando no había indicios de una transferencia previa (ya sea directa o indirecta)⁵⁵. Otro estudio sobre el ADN transferido por manipulación a cuchillos encontró que la transferencia secundaria de ADN se detectó en el 85% de las muestras (17 de 20 muestras). En cinco de las muestras, el contribuyente secundario fue el único contribuyente o el contribuyente principal a pesar de nunca haber entrado en contacto con el cuchillo⁵⁶.

Varios factores pueden influir en la transferencia secundaria o superior de ADN. Estos incluyen el tipo de sustancia biológica depositada, la naturaleza del sustrato primario y secundario, el contenido de humedad del depósito y el tipo de contacto entre las superficies. Estos factores son aquellos

típicamente considerados en la transferencia de material en general. Las manos y las uñas pueden actuar como vectores para la transmisión de enfermedades o evidencia.

La sangre u otros fluidos corporales o material celular pueden transferirse de una mano a otra en múltiples eventos de transferencia, y también pueden actuar como un depósito de ADN o material corporal. Las manos y las uñas pueden transferir secreciones nasales, saliva, líquido de los ojos / nariz / boca o líquido corporal de las heridas u orificios del individuo mismo o de otros individuos. La persistencia del fluido corporal o de cualquier ADN en las uñas o las manos depende de las actividades después de que se depositó el ADN o el fluido corporal. También dependerá de la ubicación y puede permanecer relativamente más tiempo en un área donde es menos probable que se desaloje, como en grietas o debajo de las uñas. Las cantidades de ADN recuperado de manos descubiertas o superficies tocadas una vez con las manos descubiertas varían ampliamente, de 0 a 150 ng¹⁰.

Se ha investigado el contacto piel con piel, por ejemplo, durante las agresiones físicas, en el contexto del

estrangulamiento manual. Los niveles detectables de ADN no propio normalmente están presentes en las superficies de los cuellos, especialmente cuando conviven con otros individuos. Por lo tanto, cualquier ADN obtenido de un cuello en un caso de estrangulación puede, o no, ser del agresor¹⁰. Un estudio de 40 voluntarios mostró que los perfiles de ADN de buena calidad de las uñas se asociaron con el contacto íntimo reciente y también se obtuvieron de personas que compartieron alojamiento con sus parejas, compañeros de piso y / o niños⁵⁷. Otro estudio encontró que se pueden encontrar cantidades variables de ADN extraño en muestras de parejas que cohabitan sin que haya ocurrido ningún contacto sexual⁵⁸. La detección de ADN desde debajo de las uñas de los dedos parece tan variada como la detección de ADN desde cualquier otra superficie con variables como el tiempo transcurrido desde actividades anteriores, el tiempo que el donante y el receptor pasan juntos y el método de recuperación del ADN.

Por otro lado, la transferencia directa o indirecta de ADN después de la actividad criminal representa un tema de interés entre los científicos forenses. Los investigadores han observado

transferencia posterior al evento criminal que puede ocurrir por diversos medios, entre ellos: el uso no apropiado o inadecuado del equipo de protección personal cuando se examina y/o manipula objetos expuestos; contacto de tales exhibiciones con herramientas y/o equipos sucios⁵⁹⁻⁶⁶.

Es de suma importancia, diferenciar el concepto de transferencia y contaminación del ADN dado que ambos se refieren al movimiento del ADN entre superficies (personas u objetos). El momento de este movimiento es lo que define si hablamos de transferencia asociada al evento criminal o una contaminación que no está relacionada con el evento en cuestión.

Se ha descrito que un individuo puede transferir ADN mientras habla o tose a superficies cercanas y la obtención de un perfil genético completo depende del tiempo que dure dicha actividad y la posición que se encuentre el individuo, por ejemplo, estar sentado, de rodillas o de pie¹⁰.

Se conoce que la mayoría de las superficies y objetos que se tocan regularmente tienen algún nivel de ADN de fondo o background. La calidad y cantidad de este ADN dependerán de la frecuencia con la que se toquen estas superficies, por quién y el tipo y regularidad de la limpieza. Los estudios de ADN ambiental de los laboratorios de biología forense han demostrado que la superficie, el equipo y las herramientas dentro del laboratorio también pueden contener cantidades detectables de ADN, que pueden haber sido derivadas de los examinadores, otros individuos que han ingresado al área o manejado el empaque, el equipo, las herramientas y los consumibles, o de efectos previamente examinados⁶⁷. Por lo tanto, las superficies, el equipo y las herramientas sucios dentro de un laboratorio forense representan un riesgo potencial con respecto a la contaminación de las pruebas a examinar.

La contaminación de los objetos expuestos puede ocurrir en cualquier etapa de una investigación. Los guantes usados durante el examen son un factor de riesgo clave para dicha contaminación. Este riesgo dependerá de cómo se ponen los guantes, qué se toca con ellos y cuándo se reemplazan.

DISCUSIÓN

Es incuestionable la utilidad de las trazas de ADN en la investigación criminal. Sin embargo, los expertos forenses que participan en las distintas áreas del proceso deben considerar que la adición, pérdida y/o redistribución del ADN puede tener implicaciones significativas para la investigación, poniendo en duda el valor de los resultados obtenidos⁶⁸. En concordancia, es de suma importancia determinar si un perfil genético, en el que existe incertidumbre, puede estar asociado con el evento del crimen en sí mismo, de modo que es posible que la transferencia de ADN haya ocurrido antes, durante o después del mismo, por lo cual deben plantearse procedimientos que ayuden a minimizar la contaminación inter e intra-laboratorio de las evidencias. Estos procedimientos implican estrictas medidas de trabajo, capacitación del personal en referencia a los mecanismos de transferencia, el correcto uso y reposición de los elementos de protección personal, limpieza minuciosa tanto de lugar de trabajo como del equipamiento utilizado, establecimiento de restricciones de acceso a determinadas áreas de trabajo y discriminación sectorial de actividades y almacenamiento^{9, 69}.

Este tipo de medidas cobran relevancia ya que una incorrecta interpretación en los perfiles genéticos puede producir errores judiciales, por interpretaciones engañosas^{69, 70}.

Para detectar posibles contaminaciones se ha propuesto utilizar bases de datos de perfiles de referencia de todas aquellas personas que hayan sido parte de la investigación de campo tanto a nivel pericial como auxiliares de autoridades judiciales o bien encargados del transporte y/o manipulación⁷⁰.

El conocimiento sobre las condiciones que pueden influir en la transferencia secundaria o superior aun es limitado. Esta falta de conocimiento sobre el nivel de transferencia en situaciones dadas, y de los factores que afectan dicha transferencia, hace que sea difícil evaluar la probabilidad de escenarios de casos alternativos. Por lo tanto, es necesario que los científicos forenses realicen más investigación sobre los mecanismos de transferencia de ADN⁷¹.

Un concepto relativamente nuevo es el ADN-TTPR que hace referencia a las variables que afectan la **transferencia, persistencia, prevalencia y recuperación** del ADN en las diferentes muestras biológicas. La relevancia de este concepto es que hace mención del nivel de actividad del hecho delictivo que se está investigando. Haciendo hincapié en el quién, qué, cuándo y cómo.

Esta nueva conceptualización pone de manifiesto la necesidad que tienen los laboratorios de genética forense de fortalecer su nivel de competencia con el fin de garantizar la calidad, autenticidad y la seguridad de los resultados emitidos por los laboratorios a través de la acreditación bajo la norma ISO/IEC 17025 y la utilización de bases de datos de descarte, donde los propios laboratorios generen los perfiles genéticos procedentes del personal del laboratorio, el personal que arriba a la escena del crimen (personal policial), los que participan de la autopsia, la fiscalías intervinientes así como de otro personal que eventualmente pueda acceder al área de trabajo como ser servicios de limpieza, mantenimiento, seguridad y personal que de una manera u otra haya podido estar en contacto con las muestras. No obstante, la comparación dentro de la base e identificación de cualquier contaminación detectable debido a la transferencia de material biológico debe de ser evaluada y analizada.

CONCLUSIONES

A partir de esta revisión se puede concluir que existe un riesgo de transferencia de ADN que puede conducir a resultados erróneos, por lo tanto, es importante asegurar la actualización de los procedimientos de la práctica y brindar la capacitación adecuada para garantizar que el personal policial y de aquel que recolecta indicios

sea consciente de los riesgos de contaminación y de los diferentes mecanismos de transferencia de material genético. Asimismo, el correcto uso de los elementos de protección, levantamiento de muestras, manipulación de las mismas, embalaje, transporte, y hasta su análisis, deben realizarse con total cuidado y siempre documentando cada manejo de la evidencia en una cadena de custodia. En la investigación criminal, donde se desea conocer la inocencia o la culpabilidad de una persona, se debe trabajar con mucha meticulosidad, resguardando todos los cuidados para evitar una transferencia de material genético y así lograr arribar a una conclusión indubitable.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Flindt R. Skin, Skin Adnexa (Hair, Nails, Glands). In: *Amazing Numbers in Biology*. [Internet]. Berlín, Heidelberg: Springer;2006. P. 212-214. [citado 15 enero 2022]. Disponible en:

https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-30147-X_21 doi.org/10.1007/3-540-30147-X

2. Wickenheiser RA. Trace DNA: A review, Discussion of Theory, and Application of the Transfer of Trace Quantities of DNA Through Skin Contact. *J. Forensic Sci.* [Internet]2002. [citado 15 enero 2022];47 (3) 442-450. Disponible en:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12051321/>

3. van Oorschot RA, Jones MK. DNA fingerprints from fingerprints. *Nature* [Internet]. 1997 [citado 15 enero 2022];387(6635):767-767.

doi.org/10.1038/42838. Disponible en:

<https://www.nature.com/articles/42838>

4. Gill P, Whitaker J, Flaxman C, Brown N, Buckleton J. An investigation of the rigor of interpretation rules for STRs derived from less than 100 pg of DNA. *Forensic Sci Int.* 2000 [citado 12 mayo 2022]; 112(1): 17-40. doi.org/10.1016/S0379-0738(00)00158-4. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073800001584?via%3Dihub>

5. Budowle B, Eisenberg AJ, Daal AV. Validity of

low copy number typing and applications to forensic science. *Croatian Med J.* 2009 [citado 15 enero 2022]; 50(3), 207-217. doi.org/10.3325/cmj.2009.50.207 . Disponible en:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2702736/>

6. Daly DJ, Murphy C, McDermott SD. The transfer of touch DNA from hands to glass, fabric and wood. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2012 [citado 15 enero 2022]; 6(1):41-46. doi.org/10.1016/j.fsigen.2010.12.016 Disponible en:

[https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(11\)00023-8/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(11)00023-8/fulltext)

7. Goray M, Mitchell JR, van Oorschot RA. Evaluation of multiple transfer of DNA using mock case scenarios. *Leg Med (Tokyo)*. [Internet] 2012 [citado 15 enero 2022]; 14(1):40-46. doi.org/10.1016/j.legalmed.2011.09.006. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1344622311001143?via%3Dihub>

8. Goray M, Mitchell RJ, van Oorschot RA. Investigation of secondary DNA transfer of skin cells under controlled test conditions. *Leg Med (Tokyo)*. [Internet] 2010 [citado 13 abril 2022]; 12(3): 117-120. doi.org/10.1016/j.legalmed.2010.01.003. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1344622310000076?via%3Dihub>

9. Colussi A C, Bozzo W R, Laborde L, Canutti L J, Carini G M, Pozzi E, et al. Impacto de la incorporación de muestras forenses obtenidas por transferencia de células epiteliales en el análisis de ADN. [Internet]. Buenos Aires: Sección de Análisis Comparativo de ADN, Asesoría Pericial Departamental La Plata, Dirección General de Asesorías Periciales, Suprema Corte de la Provincia; 2014. [citado 15 enero 2022] Disponible:

<http://www.scba.gov.ar/pericial/adn/Incorporaci%C3%B3n%20de%20muestras%20en%20el%20an%C3%A1lisis%20de%20ADN.pdf>

10. Meakin G, Jamieson A. DNA transfer: review and implications for casework. *Forensic Sci Int Gen* [Internet]. 2013 [citado 15 enero 2022];7(4):434-443.

doi.org/10.1016/j.fsigen.2013.03.013. Disponible en:

[https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(13\)00092-6/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(13)00092-6/fulltext)

11. Alketbi SK, The Affecting Factors of Touch DNA. *J Forensic Res* [Internet]. 2018 [citado 15 enero 2022];9(3):1-4.

doi.org/10.4172/2157-7145.1000424. Disponible en:

<https://www.hilarispublisher.com/open-access/the-affecting-factors-of-touch-dna-2157-7145-1000424.pdf>

12. Alketbi S, Goodwin W. The effect of time and environmental conditions on Touch DNA. *Forensic Sci Int Genet*. 2019[citado 15 enero 2022]; 7(1):701-703. doi.org/10.1016/j.fsigen.2019.10.144. Disponible en: [https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768\(19\)30197-0/fulltext](https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768(19)30197-0/fulltext)

13. Alketbi S, Goodwin W. The effect of surface type, collection and extraction methods on touch DNA. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2019[citado 15 enero 2022];7(1): P704-706. doi.org/10.1016/j.fsigen.2019.10.145. Disponible en: [https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768\(19\)30198-2/fulltext](https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768(19)30198-2/fulltext)

14. Oleiwi AA, Morris MR, Schmerer WM, Sutton R. The relative DNA-shedding propensity of the palm and finger surfaces. *Scien Just*. [Internet]. 2015 [citado 15 enero 2022];55(5):329-334. doi.org/10.1016/j.scijus.2015.04.003. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1355030615000544?via%3Dihub>

15. Stanciu C, Philpott M, Kwon Y. Optical characterization of epidermal cells and their relationship to DNA recovery from touch samples. *F1000Research* [Internet]. 2015 [citado 15 enero 2022]; 4:1360. doi.org/10.12688/f1000research.7385.1. Disponible en: <https://f1000research.com/articles/4-1360/v1>

16. Tobias SH, Jacques GS, Morgan R M, Meakin GE. The effect of pressure on DNA deposition by touch. *Forensic Science International: Gen Suppl Ser* [Internet]. 2017 [citado 15 enero 2022]; 6: e12-e14. doi.org/10.1016/j.fsigen.2017.09.020. Disponible en: [https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768\(17\)30064-1/fulltext](https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768(17)30064-1/fulltext)

17. Tozzo P, Mazzobel E, Marcante B, Delicati A, Caenazzo. Touch DNA Sampling Methods: Efficacy Evaluation and Systematic Review. *Int J Mol* [Internet]. 2022 [citado 15 enero 2022]; 23(24): 15541. doi.org/10.3390/ijms232415541. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1422-0067/23/24/15541>

18. Burrell J, Daniel B, Frascione N. A review of trace "Touch DNA" deposits: Variability factors and an exploration of cellular composition. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2018[citado 15 enero 2022]; 39:8-18. doi.org/10.1016/j.fsigen.2018.11.019. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(18\)30274-6/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(18)30274-6/fulltext)

19. Puliatti L, Handt O, Taylor D. The level of DNA an individual transfers to untouched items in their immediate surroundings. *Forensic Sci Int Genet*. [Internet]2021 [citado 15 enero 2022]; 54, 102561. doi.org/10.1016/j.fsigen.2021.102561. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(21\)00098-3/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(21)00098-3/fulltext)

20. Finnebraaten M, Graner T, Hoff-Olsen P. May a speaking individual contaminate the routine DNA laboratory? [Internet]2008 [citado 15 enero 2022];1(1): 421-422. doi.org/10.1016/j.fsigen.2007.10.030. Disponible: [https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768\(08\)00065-6/fulltext](https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768(08)00065-6/fulltext)

21. Ruttly GN, Hopwood A, Tucker V. The effectiveness of protective clothing in the reduction of potential DNA contamination of the scene of crime. *Int J Legal Med* [Internet] 2003 [citado 15 enero 2022];117, 170-174. doi.org/10.1007/s00414-002-0348-1. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00414-002-0348-1>

22. Port NJ, Bowyer VL, Graham EA, Batuwangala M, Ruttly G. How long does it take a static speaking individual to contaminate the immediate environment? *Forens Sci Med Pathol*. [Internet] 2003[citado 15 enero 2022];2, 157-163. doi.org/10.1007/s12024-006-0004-z. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12024-006-0004-z>

23. Van Oorschot RA, Ballantyne K, Mitchell RJ. Forensic trace DNA: a review. *Investing Genet*. 2010[citado 15 enero 2022]; 14: 1-17. doi.org/10.1186/2041-2223-1-14. Disponible en: <https://investigativegenetics.biomedcentral.com/articles/10.1186/2041-2223-1-14>

24. Van Oorschot RAH, McColl DL, Alderton JE, Harvey ML, Mitchell RJ, Szkuta. Activities between activities of focus—Relevant when assessing DNA transfer probabilities. *Forensic Sci Int Genet*. [Internet].2015[citado 15 enero 2022]; 5: E75-E77. doi.org/10.1016/j.fsigen.2015.09.031. Disponible: [https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768\(15\)30210-9/fulltext](https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768(15)30210-9/fulltext)

25. Stella CJ, Mitchell RJ, van Oorschot RAH. Hand activities during robberies—Relevance to consideration of DNA transfer and detection. *Forensic Sci Int Genet*. [Internet]. 2017[citado 15 enero 2022]; 6:E3-E5. doi.org/10.1016/j.fsigen.2017.09.002 . Disponible en: [https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768\(17\)30235-4/fulltext](https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768(17)30235-4/fulltext)
26. Homreiol L. Recogida de restos epiteliales sobre diferentes superficies. eficiencia de la analítica de ADN en casos reales. *Med Legal Foren*[Internet]. 2014[citado 23 mayo 2022];20: 73-85. Disponible en: http://www.agmf.es/az/RECOGIDA_DE_RESTOS_EPITELIALES SOBRE_DIFERENTES_SUPERFICIES_EFICIENCIA_DE_LA_ANALITICA_DE_ADN_EN_CASOS_REALES_HOMBREIRO_L.pdf
27. Miller M, Philpott K, Olsen A, Tootham M, Yadavalli V, Ehrhardt C. Survey of extracellular and cell-pellet-associated DNA from 'touch'/trace samples. *Forensic Sci Int Genet*[Internet]. 2021[citado 23 mayo 2022]; 318: 110557. doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110557. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073820304199?via%3Dihub>
28. Burrill J, Daniel B, Frascione N. Illuminating touch deposits through cellular characterization of hand rinses and body fluids with nucleic acid fluorescence. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2020 [citado 23 mayo 2022];46:102269. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(20\)30040-5/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(20)30040-5/fulltext)
29. Burrill J, Hotta R, Nunzianda F. Accumulation of endogenous and exogenous nucleic acids in "Touch DNA" components on hands. *Electrophoresis* [Internet]. 2021 [citado 23 mayo 2022]; 42(16): 1594-1604. doi.org/10.1002/elps.202000371. Disponible: <https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/elps.202000371>
30. Jansson L, Swensson M, Gifvars E, Hedell R, Forsberg C, Ansell R, et al. Individual shedder status and the origin of touch DNA. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2022[citado 23 mayo de 2022];56: 102626. doi.org/10.1016/j.fsigen.2021.102626. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(21\)00162-9/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(21)00162-9/fulltext)
31. Burril J, Rammenou E, Alawar F, Daniel B, Frascione N. Corneocyte lysis and fragmented DNA considerations for the cellular component of forensic touch DNA. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2021 [citado 23 mayo 2022]; 51: 102428. doi.org/10.1016/j.fsigen.2020.102428. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(20\)30200-3/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(20)30200-3/fulltext)
32. Kanokwongnuwut P, Martin B, Taylor D, Kirkbride P, Linacre A. How many cells are required for successful DNA profiling? *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2021 [citado 22 mayo 2022]; 51: 102453doi.org/10.1016/j.fsigen.2020.102453. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(20\)30225-8/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(20)30225-8/fulltext)
33. Vandewoestyne M, Van Hoofstat D, Franssen A, Nieuwerburgh F Deforce D. Presence and potential of cell free DNA in different types of forensic samples. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2013[citado 23 mayo 2022];7(2):316-P320. doi.org/10.1016/j.fsigen.2012.12.005. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(12\)00272-4/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(12)00272-4/fulltext)
34. Alketbi SK, Goodwin WH. Validating Touch DNA Collection Techniques Using Cotton Swabs. *J Forensic Res* [Internet]. 2019[citado 23 mayo 2022];10(3). Disponible en: <http://clok.uclan.ac.uk/37761/>
- 35 Giovanelli A, Grzinoli Garrido R, Rocha A, Hessab T.Hessab T. Touch DNA recovery from vehicle surfaces using different swabs. *J Forensic Sci* [Internet]. 2021 [citado 23 mayo de 2022];67(2): 707-711. doi.org/10.1111/1556-4029.14932. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1556-4029.14932>
36. Kirgz I, Calloway C. Increased recovery of touch DNA evidence using FTA paper compared to conventional collection methods. *J Forensic Leg Med* [Inretnet]. 2017[citado 23 mayo de 2022]; 47: 9-15. doi.org/10.1016/j.jflm.2017.01.007. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1752928X17300070?via%3Dihub>
37. Hartless S, Walton Williamns L, Williams G. Critical evaluation of touch DNA recovery methods for forensic purposes. *Forensic Sci Int*

- Genet [Internet]. 2019 [citado 23 mayo 2022];7(1):379-380.
 doi.org/10.1016/j.fsigss.2019.10.020. Disponible en:
[https://www.fsigenicssup.com/article/S1875-1768\(19\)30003-4/fulltext](https://www.fsigenicssup.com/article/S1875-1768(19)30003-4/fulltext)
38. Währer J, Kehm S, Allen M, Brauer L, Eidam O, Seiberle I, Schulz I. The DNA-Buster: The evaluation of an alternative DNA recovery approach. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2023 [citado 23 mayo 2022] ;64: 102830.
 doi.org/10.1016/j.fsigen.2023.102830. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(23\)00005-4/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(23)00005-4/fulltext)
39. Thomasma SM, Foran DR. The Influence of Swabbing Solutions on DNA Recovery from Touch Samples. *J Forensic Sci* [Internet]. 2013 [citado 23 mayo 2022]; 58(2): 465-469.
 doi.org/10.1111/1556-4029.12036. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1556-4029.12036>
40. 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* [Internet]. 2019 [citado 23 mayo 2022]; 9(1): 9542. doi.org/10.1038/s41598-019-46051-9. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-46051-9>
41. Haase HT, Mogensen HS, Petersen CB, Holmer A, Borsting C, Pereira V. Optimization of the collection and analysis of touch DNA traces. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2019[citado 23 mayo 2022]; 7(1): P98-99. doi.org/10.1016/j.fsigss.2019.09.038. Disponible en: [https://www.fsigenicssup.com/article/S1875-1768\(19\)30359-2/fulltext](https://www.fsigenicssup.com/article/S1875-1768(19)30359-2/fulltext)
42. Bonsu DO, Rodie M, Higgins D, Henry J, Austin J. Comparison of Isohelix™ and Rayon swabbing systems for touch DNA recovery from metal surfaces. *Forensic Sci Med Pathol* [Internet]. 2021 [citado 23 mayo 2022]; 17(4):577-584. doi.org/10.1007/s12024-021-00423-8. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12024-021-00423-8>
43. Comte J, Baechler S, Gervais J, Pierre Milon M, Delemont O, Castella V. Touch DNA collection – Performance of four different swabs. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2019[citado 23 mayo 2022]; 43:102113. doi.org/10.1016/j.fsigen.2019.06.014. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(18\)30636-7/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(18)30636-7/fulltext)
44. Verdon T, Mitchel J, Van Oorschot RA. Evaluation of tapelifting as a collection method for touch DNA. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2014 [citado 23 mayo 2022]; 8(1):179-186. doi.org/10.1016/j.fsigen.2013.09.005. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(13\)00194-4/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(13)00194-4/fulltext)
45. Hedman J, Jansoon L, Akel Y, Gutierrez Lijstrand R, Forsberg C, et al. The double-swab technique versus single swabs for human DNA recovery from various surfaces. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2020 [citado 23 mayo 2022];46: 102253. doi.org/10.1016/j.fsigen.2020.102253. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(20\)30024-7/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(20)30024-7/fulltext)
46. Seiberle I, Währer J, Kron S, Flury K, Girardin M, Schocker A, et al. Collaborative swab performance comparison and the impact of sampling solution volumes on DNA recovery. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2022 [citado 23 mayo 2022]; 59: 102716. doi.org/10.1016/j.fsigen.2022.102716. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(22\)00057-6/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(22)00057-6/fulltext)
47. Ip SC, Lin SW, Lai KM. An evaluation of the performance of five extraction methods: Chelex® 100, QIAamp® DNA Blood DNA Investigator Kit, QIASymphony® DNA Investigator® Kit and DNA IQ™. *Sci Justice* [Internet]. 2015 [citado 23 mayo 2022]; 55(3): 200-8. doi.org/10.1016/j.scijus.2015.01.005. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1355030615000064?via%3Dihub>
48. Templeton J, Ottens R, Paradiso V, Handt O, Taylos D, Linacre A. Genetic profiling from challenging samples: Direct PCR of touch DNA. *Forensic Sci Intn Genet* [Internet]. 2013 [citado 23 mayo 2022]; 4(1): E224-E225. doi.org/10.1016/j.fsigss.2013.10.115. Disponible en: [https://www.fsigenicssup.com/article/S1875-1768\(13\)00116-9/fulltext](https://www.fsigenicssup.com/article/S1875-1768(13)00116-9/fulltext)

49. Cavanaugh S, Bathrick A. Direct PCR amplification of forensic touch and other challenging DNA samples: A review. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2018 [citado 23 mayo 2022]; 32: P40-49. doi.org/10.1016/j.fsigen.2017.10.005. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(17\)30211-9/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(17)30211-9/fulltext)
50. Martin B, Taylor D, Linacre A. Comparison of six commercially available STR kits for their application to touch DNA using direct PCR. *Forensic Sci Int Reports* [Internet]. 2021 [citado 23 mayo 2022]; 4:100243doi.org/10.1016/j.fsr.2021.100243. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665910721000748?via%3Dihub>
51. Lowe A, Murray C, Whitaker J, Tully G, Gill P. The propensity of individuals to deposit DNA and secondary transfer of low level DNA from individuals to inert surfaces. *Forensic Sci Int* [Internet]. 2002 [citado 23 mayo 2022]; 129(1): 25-34. doi.org/10.1016/S0379-0738(02)00207-4. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073802002074?via%3Dihub>
52. Ruttly GN. An investigation into the transference and survivability of human DNA following simulated manual strangulation with consideration of the problem of third party contamination. *Int J Legal Med* [Internet]. 2002 [citado 23 mayo 2022]; 116: 170-173. doi.org/10.1007/s00414-001-0279-2. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00414-001-0279-2>
53. Raymond J, van Oorschot R, Gunn P, Walsh Roux C. Trace evidence characteristics of DNA: A preliminary investigation of the persistence of DNA at crime scenes. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2009 [citado 23 mayo 2022]; 4(1):26-33. doi.org/10.1016/j.fsigen.2009.04.002. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(09\)00053-2/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(09)00053-2/fulltext)
54. Castella V, Mangin P. DNA profiling success and relevance of 1739 contact stains from caseworks. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2008 [citado 23 mayo 2022]; 1(1): P405-407. doi.org/10.1016/j.fsigss.2007.10.071. Disponible en: [https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768\(08\)00102-9/fulltext](https://www.fsigeneticssup.com/article/S1875-1768(08)00102-9/fulltext)
55. Fonnelop A, Egeland T, Gill P. Secondary and subsequent DNA transfer during criminal investigation. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2015 [citado 23 mayo 2022]; 17: 155-162. doi.org/10.1016/j.fsigen.2015.05.009. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(15\)30013-2/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(15)30013-2/fulltext)
56. Cale CM, Earll ME, Latham KE, Bush G. Could Secondary DNA Transfer Falsely Place Someone at the Scene of a Crime? *J Forensic Sci* [Internet]. 2015 [citado 23 mayo 2022]; 61(1): 196-203 doi.org/10.1111/1556-4029.12894. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1556-4029.12894>
57. Dowlman E, Martin N, Foy M, Lochner M, Neocleous. The prevalence of mixed DNA profiles on fingernail swabs. *Sci Justice* [Internet]. 2010 [citado 23 mayo 2022]; 50(2):64-71. doi.org/10.1016/j.scijus.2009.03.005. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1355030609000598?via%3Dihub>
58. Malson S, Flanagan N, McAlister C, Dixon L. The prevalence of mixed DNA profiles in fingernail samples taken from couples who co-habit using autosomal and Y-STRs. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2009 [citado 23 mayo 2022]; 3(2), 57-62. doi.org/10.1016/j.fsigen.2008.09.007. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(08\)00139-7/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(08)00139-7/fulltext)
59. Ruttly GN. Human DNA contamination of mortuaries: does it matter? *JPathol* [Internet]. 2000 [citado 23 mayo 2022]; 190(4): 410-1. doi: 10.1002/(SICI)1096-9896(200003)190:4<410::AID-PATH532>3.0.CO;2-U. PMID: 10699987. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10699987/>
60. Schwark T, Poetsch M, Preusse-Prange A, Kamphausen T. Phantoms in the mortuary—DNA transfer during autopsies. *Forensic Sci Int* [Internet]. 2012 [citado 23 mayo 2023]; 261(1): 3. doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.09.006. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073811004531?via%3Dihub>

61. Szkuta B, Harvey ML, Ballantyne Kn, van Oorschot RA. DNA transfer by examination tools – a risk for forensic casework? *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2015 [citado 23 mayo 2022];16: P246-254. doi.org/10.1016/j.fsigen.2015.02.004. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(15\)00033-2/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(15)00033-2/fulltext)
62. Poy AL, van Oorschot RA. Trace DNA presence, origin, and transfer within a forensic biology laboratory and its potential effect on casework. *J Forensic Identif* [Internet]. 2006 [citado 23 mayo 2022]; 56(4): 558-576. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/279894863_Trace_DNA_presence_origin_and_transfer_within_a_forensic_biology_laboratory_and_its_potential_effect_on_casework
63. Graham Ea, Ruffy GN. Investigation into “Normal” Background DNA on Adult Necks: Implications for DNA Profiling of Manual Strangulation Victims. *J Forensic Sci* [Internet]. 2008 [citado 23 mayo 2022]; 53(5): 1074-82. doi.org/10.1111/j.1556-4029.2008.00800.x. Disponible: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1556-4029.2008.00800.x>
64. Kamphausen T, Fandel SB, Gutmann JS, Bajanowski T, Poetsch M. Everything clean? Transfer of DNA traces between textiles in the washtub. *Int J Legal Med* [Internet]. 2015 [citado 23 mayo 2022];129: 709-714. doi.org/10.1007/s00414-015-1203-5. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00414-015-1203-5>
65. Phipps M, Petricevic S. The tendency of individuals to transfer DNA to handled items. *Forensic Sci Int* [Internet]. 2007 [citado 23 mayo 2022];168(2-3): 162-168. doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.07.010. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073806004981?via%3Dihub>
66. Shaw K, Sesardic I, Bristol N, Ames C, Dagnall K, Ellis C, et al. Comparison of the effects of sterilisation techniques on subsequent DNA profiling. *Int J Legal Med* [Internet]. 2007 [citado 23 mayo 2022];122:29-33. doi.org/10.1007/s00414-007-0159-5. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00414-007-0159-5>
67. Fonnelop 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* [Internet]. 2016 [citado 23 mayo 2022];23:121-129. doi.org/10.1016/j.fsigen.2016.04.003. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(16\)30059-X/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(16)30059-X/fulltext)
68. Goray M, Pirie E, van Oorschot R. DNA transfer: DNA acquired by gloves during casework examinations. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2019 [citado 23 mayo 2022];38:167-174. doi.org/10.1016/j.fsigen.2018.10.018. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(18\)30428-9/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(18)30428-9/fulltext)
69. Basset P, Castella V. Positive impact of DNA contamination minimization procedures taken within the laboratory. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2019 [citado 23 mayo 2022];38:232-235. doi.org/10.1016/j.fsigen.2018.11.013. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(18\)30525-8/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(18)30525-8/fulltext)
70. Pickrahn I, Kreindl G, Müller E, Zahrer W, Cemper-Kiesslich J, Neuhuber F. Contamination incidents in the pre-analytical phase of forensic DNA analysis in Austria—Statistics of 17 years. *Forensic Sci Int Genet* [Internet]. 2017 [citado 23 mayo 2022];31:12-18. doi.org/10.1016/j.fsigen.2017.07.012. Disponible en: [https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973\(17\)30154-0/fulltext](https://www.fsigenetics.com/article/S1872-4973(17)30154-0/fulltext)
71. Champod C. DNA transfer: ¿informed judgment or mere guesswork? *Fron Genet* [Internet]. 2013 [citado 23 mayo 2022]; 4:300. doi.org/10.3389/fgene.2013.00300. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2013.00300/full>