



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea



Zuzenbide Fakultatea
Facultad de Derecho

UN ANÁLISIS EN PROFUNDIDAD DE LA APLICACIÓN DE PRUEBAS GENÉTICAS EN CRÍMENES SEXUALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO EN CRIMINOLOGÍA

Realizado por Alicia García de Juan

Dirigido por Isabel López Abadía

Curso 2022/2023

Agradecimientos

Quería aprovechar este espacio para expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental de este proyecto y que me han brindado su apoyo incondicional a lo largo del camino.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi tutora y directora del TFG, Isabel López Abadía, por su invaluable guía y por hacer que este viaje fuera más ameno. Su sabiduría, paciencia y dedicación han sido fundamentales para el éxito de este trabajo.

A mis queridos padres, Patxi y Marisa, a mis tíos Ricardo y Quique, y a mi hermano Enrique, les debo un agradecimiento especial. Su constante fe en mí y en mis capacidades me ha dado la fuerza y la motivación necesaria para enfrentar los desafíos que este proyecto conllevaba. Su apoyo inquebrantable ha sido mi mayor inspiración.

A mi pareja, David, quiero expresar mi profundo agradecimiento. Gracias por estar a mi lado en cada etapa de este proceso, por brindarme tu apoyo incondicional y por recordarme constantemente que soy capaz y que no debo rendirme.

A mis amistades, quiero darles las gracias por estar siempre presentes, por animarme y por brindarme su apoyo durante todo este arduo proyecto. Sus palabras de aliento y su ánimo han sido fundamentales para mantenerme motivada y enfocada en alcanzar mis metas.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a todos los entrevistados que han colaborado y han hecho posible el desarrollo y éxito de este proyecto. En particular, quiero destacar la generosidad y disponibilidad de Marian M. de Pancorbo, quien abrió las puertas de su laboratorio y me permitió adentrarme en el fascinante mundo de la molécula que es el centro de este trabajo, el ADN.

Resumen

El objetivo de esta investigación es realizar un análisis en profundidad de las pruebas genéticas utilizadas en crímenes sexuales, explorando su aplicación y validez en el proceso penal. Por otra parte, mediante el planteamiento de una serie de hipótesis se tratará de esclarecer aquellas limitaciones que pueden surgir a la hora de aplicar las pruebas de ADN en la justicia penal. Para lograrlo, se ha llevado cabo una revisión bibliográfica en profundidad. Asimismo, se han realizado entrevistas semiestructuradas a expertos reconocidos, cuyas aportaciones en la materia han sido fundamentales para enriquecer este estudio. Además, se ha realizado una visita in situ a un laboratorio de genética forense, con el fin de obtener una perspectiva práctica de los procesos y las tecnologías utilizadas en la realización de pruebas genéticas en casos de crímenes sexuales. Por último, en cuanto a los resultados se confirman tres de las cinco limitaciones que se planteaban como posibilidad de “fallo” de las pruebas de ADN en resolución de delitos sexuales.

Palabras clave: ADN, prueba de ADN, pruebas genéticas, crímenes sexuales, genética forense, vestigios biológicos, muestras.

Abstract

The objective of this research is to carry out an exhaustive analysis of the genetic tests used in sex crimes, exploring their application and validity in the criminal process. On the other hand, by means of a series of hypotheses we will try to clarify those limitations that may arise when applying DNA tests in criminal justice. To achieve this, an in-depth literature review was carried out. Likewise, semi-structured interviews have been conducted with recognized experts, whose contributions in the field have been fundamental to enrich this study. In addition, an on-site visit was made to a forensic genetics laboratory in order to obtain a practical perspective of the processes and technologies used in the performance of genetic testing in sex crime cases. Finally, in terms of the results, three of the five limitations that were raised as a possibility of "failure" of DNA tests in the resolution of sexual crimes were confirmed.

Key words: DNA, DNA testing, genetic testing, sex crimes, forensic genetics, biological traces, samples.

ABREVIATURAS

- ADN (Ácido desoxirribonucleico)
- ADNmt (ADN Mitocondrial)
- CE (Constitución Española)
- CNUFADN (Comisión Nacional para el Uso de Forense del ADN)
- CODIS (Combined DNA Index System)
- CP (Código Penal)
- EC (electroforesis capilar)
- EDTA (Ácido etilendiaminotetraacético)
- ETS (Enfermedad de Transmisión Sexual)
- GHEP-ISFG (Grupo de Habla Española y Portuguesa de la International Society for Forensic Genetics)
- IMLCF (Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses)
- INTCF (Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses)
- ITS (Infección de Transmisión Sexual)
- J.I (Juez de Instrucción)
- J.O (Juicio Oral)
- LECrim (Ley de Enjuiciamiento Criminal)
- LR (likelihood ratio o coeficiente de verosimilitud)
- MPS (secuenciación masiva en paralelo)
- NGS (secuenciación de nueva generación)
- PCR (reacción en cadena de la polimerasa)
- PSA (antígeno específico prostático)
- STR (Short Tandem Repeats)
- STS (Sentencia del Tribunal Supremo)

ÍNDICE

Introducción	1
1 MARCO TEÓRICO	2
1.1 LOS PRINCIPIOS DE LOCARD COMO FUNDADORES DE LA CRIMINALÍSTICA.	2
1.2 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA IDENTIFICACIÓN GENÉTICA.	4
1.3 HISTORIA DEL ADN Y EVOLUCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN GENÉTICA.	5
1.4 DEFINICIÓN DE ADN Y OTROS CONCEPTOS GENÉTICOS	8
1.4.1 ADN Nuclear	8
1.4.2 ADN Mitocondrial (ADNmt)	11
1.4.3 ADN Cromosoma Y	12
1.4.4 Los polimorfismos genéticos	13
1.4.5 El uso de ADN como prueba científica	17
2 MARCO NORMATIVO	18
2.1 REGULACIÓN DE CRÍMENES SEXUALES	19
2.2 INSPECCIÓN OCULAR	20
2.3 INTERVENCIONES CORPORALES DIRECTAS	21
2.4 REGULACIÓN BASES DE DATOS DE ADN	23
3 CONCEPTOS TEÓRICOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	26
3.1 CADENA DE CUSTODIA	27
3.2 RECOGIDA DE MUESTRAS	30
3.2.1 Los principales indicios biológicos en crímenes sexuales	31
3.2.2 Tiempo de permanencia de espermatozoides y otros fluidos biológicos	32
3.2.3 Recogida de muestras en el lugar de los hechos	33
3.2.4 Recogida de muestras sobre el cuerpo de la víctima	37
3.2.5 Muestras indubitadas del cuerpo del agresor	41
3.2.6 Cadena de custodia y medidas de preservación de la muestra desde que se recoge hasta que se traslada al laboratorio	42
3.3 ANÁLISIS DE ADN	45
3.3.1 Extracción de ADN	50
3.3.2 Cuantificación de ADN	52
3.3.3 Amplificación de ADN	54
3.3.4 Detección del producto amplificado o tipificación	55
3.3.5 Marcadores genéticos en genética forense	58
3.3.6 Selección de polimorfismos a estudiar.	59
3.3.7 Protocolos internos del laboratorio para garantizar la integridad de las pruebas	61

3.4	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS´	62
3.4.1	Utilización de bases de datos	64
3.4.2	Valoración estadística de la prueba	66
3.5	INFORME FINAL E INTERVENCIÓN DE LOS PERITOS DURANTE LA FASE DEL JUICIO ORAL	69
3.6	VALORACIÓN DE LA PRUEBA PERICIAL DE ADN POR PARTE DEL JUEZ	72
3.7	VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE PRUEBAS DE ADN FRENTE AL RESTO DE TÉCNICAS FORENSES	74
3.8	LIMITACIONES DE LAS PRUEBAS GENÉTICAS	75
3.9	TÉCNICAS INNOVADORAS Y MIRADA AL FUTURO	77
4	OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	79
5	METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	82
5.1	Revisión bibliográfica	82
5.2	Entrevistas	82
5.3	Visita al laboratorio	84
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	85
6.1	CADENA DE CUSTODIA	85
6.2	RECOGIDA DE MUESTRAS	88
6.2.1	Recogida de muestras del cuerpo de la víctima	90
6.2.2	Recogida de muestras del cuerpo del agresor	92
6.2.3	Recogida de muestras en la escena	93
6.2.4	Preservación e integridad de la muestra	93
6.3	ANÁLISIS DE ADN	95
6.3.1	Tipos de muestras analizadas en el laboratorio	95
6.3.2	Protocolos de actuación para evitar la contaminación en los laboratorios	96
6.3.3	Fases de análisis de ADN	97
6.3.4	Tipos de análisis de ADN	98
6.4	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBAS GENÉTICAS	99
6.4.1	Qué resultados se pueden obtener del análisis de ADN	101
6.4.2	Bases de datos	103
6.5	INFORME FINAL E INTERVENCIÓN DEL PERITO EN EL JUICIO ORAL	104
6.5.1	Qué incluye la elaboración del informe final	105
6.5.2	Cómo intervienen los peritos en el juicio oral	106
6.6	VALORACIÓN DE LA PRUEBA GENÉTICA EN EL JUICIO ORAL	107
6.7	VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE PRUEBAS GENÉTICAS FRENTE A OTRAS TÉCNICAS FORENSES	111
6.8	TÉCNICAS INNOVADORAS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO	113

6.9	LIMITACIONES DEL USO DE PRUEBAS GENÉTICAS	117
6.9.1	Demora en la recogida de muestras	120
6.9.2	Colaboración y coordinación entre instituciones	121
6.9.3	Contaminación, deterioro o mala calidad de las muestras	123
6.9.4	Alta demanda de trabajo y falta de recursos	125
6.9.5	Otras posibles limitaciones	127
7	CONCLUSIONES	129
8	CRONOGRAMA DE PLAN DE TRABAJO	132
9	INFORME EJECUTIVO	133
10	BIBLIOGRAFÍA	142
11	LEGISLACIÓN UTILIZADA Y JURISPRUDENCIA	147

Introducción

La primera vez que se utilizó una prueba genética para resolver un caso criminal fue en Inglaterra, en el año 1987. El Dr. Alec Jeffreys se percató de que los restos de semen recogidos del cuerpo de dos víctimas de agresión sexual diferentes coincidían, lo que implicaba que les había agredido la misma persona (Hombreiro, 2013). Tras una serie de acontecimientos, se consiguió (a través de las técnicas del Dr. Jeffreys) no solo identificar al agresor de las dos mujeres, sino que, además se pudo exculpar a un inocente, que fue el primer sospechoso del caso. A partir de este momento, la aplicación de pruebas genéticas en la identificación y el análisis de evidencias biológicas ha permitido establecer vínculos concluyentes entre sospechosos y víctimas, brindando una herramienta poderosa para esclarecer casos y garantizar la justicia.

En este contexto, el presente trabajo de fin de grado (TFG) se centra en el estudio y análisis de las pruebas genéticas en el proceso penal, así como su utilización en crímenes sexuales. De esta manera, con el objetivo de comprender su importancia y su aplicación exploraremos las fases que intervienen cuando se lleva a cabo una prueba genética, así como las metodologías, medidas y protocolos que se siguen para garantizar su valía como prueba. Por otro lado, se examinarán cuestiones como la privacidad genética y las implicaciones legales que rodean al uso de este tipo de pruebas en casos de crímenes sexuales. Asimismo, se tomarán en consideración las distintas figuras que intervienen en el proceso (forense, genetista, Juez, etc.) y el papel que desempeñan durante el mismo. En este sentido, también se analizará la interpretación de las pruebas genéticas, así como su impacto en la justicia penal. Por último, se verán las ventajas que ofrecen estas pruebas frente a otras de índole forense, las limitaciones que pueden surgir al aplicarlas y, los avances o perspectivas de futuro que se esperan del uso del ADN en el ámbito penal.

En definitiva, a través de esta investigación se espera obtener un conocimiento más completo y actualizado sobre el uso de pruebas genéticas en crímenes sexuales, su relevancia en la resolución de casos y los desafíos a los que se enfrenta. Así pues, los resultados de este estudio podrían contribuir a la aportación de información valiosa para mejorar la eficacia de las investigaciones y la administración de justicia en casos de crímenes sexuales.

PARTE I. APROXIMACIÓN TEÓRICA

1 MARCO TEÓRICO

Primeramente, antes de adentrarnos en los conceptos teóricos de la propia investigación, resulta necesario situarse en un marco histórico-contextual que sustente los conceptos básicos e indispensables para comprender de dónde vienen las pruebas genéticas y cuál es su utilidad. De este modo, para conocer el contexto en el que se enmarca este estudio, es esencial explorar el origen de la criminalística y la genética forense. Asimismo, analizaremos la evolución histórica de la utilización del ADN como herramienta fundamental en la resolución de casos criminales desde sus primeros avances hasta las técnicas más actuales. Y, por último, se ahondará en las características y funciones del ADN. Mediante esta exploración bibliográfica exhaustiva, se sentarán las bases necesarias para comprender el papel crucial que desempeñan las pruebas genéticas en la identificación y el esclarecimiento de crímenes sexuales.

1.1 LOS PRINCIPIOS DE LOCARD COMO FUNDADORES DE LA CRIMINALÍSTICA.

Edmond Locard fue un importante criminólogo francés reconocido como el fundador de la criminalística moderna en su época científica. Acuñó el término "Policía Científica" o "Policía Técnica", el cual ha evolucionado con el tiempo, convirtiéndose en un concepto y una profesión ampliamente desarrollada en la actualidad (Hombreiro, 2013). En 1910, Locard formuló cuatro principios o leyes que resumen la aplicación de la criminalística en el análisis de la escena del crimen, lo cual podría considerarse como un manual de procedimiento para un investigador científico técnico (Hombreiro, 2013).

El primer principio, conocido como el principio de transferencia o de intercambio, establece que cualquier contacto o presencia en un lugar deja rastros, ya sean visibles o invisibles (Hombreiro, 2013). Es decir, cada vez que dos objetos o cuerpos entran en contacto se da una transferencia (aunque sea mínima) de parte del material que incorporan al otro objeto o cuerpo. El segundo principio, llamado principio de correspondencia, establece la relación entre las evidencias y el autor del delito (Hombreiro, 2013). El tercer principio, el de reconstrucción de los hechos, permite deducir el lugar y la forma en que ocurrieron los hechos a partir de las evidencias encontradas (Hombreiro, 2013). El cuarto principio, el de probabilidad, evalúa la posibilidad o imposibilidad de un fenómeno

basándose en el número de características verificadas durante una comparación (Hombreiro, 2013).

En su teoría inicial, Locard enfatiza la importancia de analizar cuidadosamente el lugar del delito para confirmar la presencia de rastros, anticipándose a futuros análisis entomológicos, microscópicos, químicos, biológicos y toxicológicos. También establece la comparación de las evidencias encontradas en la escena del crimen con los sospechosos o presuntos autores como una actividad fundamental en el proceso penal, lo que implica la identificación objetiva del autor del delito utilizando pruebas sometidas a leyes científico-técnicas y al principio de contradicción en el ámbito jurisdiccional (Hombreiro, 2013).

El principio de correspondencia resulta crucial en la determinación de la culpabilidad o inocencia, ya que gran parte de las condenas dependen de la certeza de esta correspondencia. Cada disciplina forense debe esforzarse por minimizar la incertidumbre lógica exigida por cualquier disciplina científica (Hombreiro, 2013).

En cuanto al principio de reconstrucción de los hechos, que utiliza el método científico lógico-deductivo, este interrelaciona todas las evidencias e indicios encontrados en la escena del crimen para llegar a conclusiones sobre cómo ocurrió el delito y su forma (Hombreiro, 2013). Locard definió la Inspección Ocular Técnico-Policial, llevada a cabo en la actualidad por las Unidades de Policía Científica, como la integración de todas las técnicas de estudio de las evidencias, indicios, trazas, rastros, etc., considerándolas como un todo integrado cuyos resultados permiten realizar juicios lógicos y plantear hipótesis sujetas a comprobación sobre el acto criminal, así como identificar a los participantes activos o pasivos en él (Hombreiro, 2013).

Por último, la introducción de la estadística o cálculo probabilístico para evaluar el grado de certeza sobre la posibilidad o imposibilidad de los sucesos con base en las evidencias previamente verificadas es un elemento (Hombreiro, 2013).

Cada una de estas leyes o principios de Locard han sido esenciales para la configuración de la investigación policial, las ciencias forenses y la verdad jurídica. Así pues, resulta oportuno mencionarlos para profundizar en el tema que nos ocupa, la aplicación del análisis material genético para la resolución de un hecho delictivo.

La disciplina concreta que se encarga de dicha actividad se denomina genética forense, la cual, es una rama de las ciencias forenses que consiste en la aplicación de la Genética a la resolución de problemas judiciales (Calabuig, 2004). La finalidad del análisis del ADN es obtener perfiles genéticos de vestigios o restos biológicos de individuos para identificar al donante de un vestigio o resto biológico, o establecer relaciones de parentesco (Hombreiro, 2013).

1.2 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA IDENTIFICACIÓN GENÉTICA.

En lo que respecta al genoma humano, este término se refiere al conjunto total de ADN presente en cada célula humana, el cual contiene las instrucciones genéticas para la síntesis de proteínas que son responsables de la fisiología y la morfología de nuestras células, tejidos y órganos (Alonso, 2004).

Todas las células de nuestros tejidos y órganos, excepto las células sexuales y ciertos tipos de células como los glóbulos rojos, contienen el mismo conjunto de instrucciones genéticas (genoma). Por lo tanto, sin importar el órgano o tejidos del cual se extraiga el ADN de un individuo, el perfil genético obtenido será el mismo (Alonso, 2004). Se trata del principio de universalidad, que implica que el genoma es la base del análisis genético comparativo realizado entre una muestra dudosa (generalmente un rastro biológico encontrado en la escena o el cuerpo de la víctima) y una muestra de referencia (generalmente sangre o saliva) extraída de la persona sospechosa de haber dejado ese rastro. Si el vestigio y la muestra de referencia provienen de la misma persona, el perfil genético obtenido será idéntico independientemente del tejido u órgano de origen (Alonso, 2004).

Otra característica importante del genoma humano es su diversidad. Aunque el código genético es idéntico en todas las células de un individuo, presenta variaciones entre diferentes individuos de la población. Esta diversidad genética nos brinda la posibilidad de obtener un código genético identificador que teóricamente permite distinguir de manera precisa cada individuo de una población, a excepción de los gemelos idénticos o uni-vitelinos (Alonso, 2004).

Asimismo, la estabilidad del genoma es otra característica relevante en muestras forenses. La molécula de ADN es altamente estable en condiciones normales, tanto en fluidos biológicos que forman manchas secas como en diversos tejidos humanos, incluso mucho tiempo después de la muerte (Alonso, 2004). Esto significa que es posible obtener

y secuenciar parte del material genético a partir de una amplia variedad de rastros biológicos de interés forense para obtener un código genético identificador y compararlo con una muestra de referencia de la persona sospechosa de haber dejado el rastro (Alonso, 2004).

El ácido desoxirribonucleico o ADN conforma la información genética que define las características y funciones de los organismos vivos. Este se trata del componente químico primario de los cromosomas y del material que constituye los genes (Hombreiro, 2013; Quesada & López, 2019). Desde su descubrimiento, el ADN ha revolucionado la ciencia y ha tenido un impacto significativo en campos como la medicina, la biología y la justicia penal. Asimismo, en el contexto de los crímenes sexuales, las pruebas genéticas basadas en el ADN se han convertido en una herramienta fundamental para la identificación y condena de los delincuentes. De esta manera, para comprender plenamente el valor y la utilidad de estas pruebas, es esencial explorar el concepto de ADN, su historia, los diferentes tipos y sus propiedades fundamentales (Hombreiro, 2013).

1.3 HISTORIA DEL ADN Y EVOLUCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN GENÉTICA.

En el año 1869 el químico alemán Friedereich Miescher aisló una sustancia en el interior del núcleo de las células a la que llamo “nucleína”. Tiempo después, dicha sustancia pasó a llamarse ácido desoxirribonucleico, finalmente conocida como ADN (Quesada & López, 2019).

En 1900 Karl Landsteiner descubrió los grupos sanguíneos de los seres humanos, consiguiendo, gracias a ello, el primer sistema de marcadores ABO, que fue utilizado durante mucho tiempo para la identificación por medio de muestras de sangres. Sin embargo, este método presentaba un gran problema, ya que no poseía un elevado poder de discriminación (Entrala, 2000; Álvarez, 2018). Y, además, se ha verificado que en todas las poblaciones existe una mayor frecuencia del grupo sanguíneo A, en concreto (Álvarez, 2018).

A principios del siglo XX, los científicos comenzaron a sospechar que el ADN podría ser el material responsable de la herencia (Portin, 2014). En 1928, el científico británico Frederick Griffith realizó un experimento con bacterias que demostró que un factor hereditario podía transferirse de una bacteria a otra (Portin, 2014). Sin embargo,

no fue hasta 1944 cuando los científicos estadounidenses Oswald Avery, Colin MacLeod y Maclyn McCarty determinaron que el ADN era la molécula responsable de la transferencia genética en su famoso experimento de la transformación bacteriana (Alcoceba, 2018).

Por su parte, la doctora en Física, Rosalind Franklin descubrió, 1952 en base a sus investigaciones en cristalografía, que las bases nitrogenadas se orientaban hacia el interior de la molécula de ADN (Peregrino & Crespillo, 2021).

Tan solo un año después, en 1953 Francis Harry Crompton Crick y James Dewey Watson publicaron los resultados de su importante proyecto de investigación sobre el ADN en la revista *Nature*, donde ambos científicos plasmaron que habían conseguido descifrar la estructura de esta sustancia. Este descubrimiento supuso una verdadera revolución científica y les valió el Premio Nobel de Medicina en 1962 (Hombreiro, 2013; Álvarez, 2018; Alcoceba, 2018). La estructura de la doble hélice del ADN revela una escalera retorcida compuesta por dos cadenas complementarias de nucleótidos alrededor de un eje común, que posee importantes funciones en los humanos, como son; (i) la capacidad de replicación o multiplicación; (ii) la capacidad de contener información a través de un lenguaje o código; (iii) la capacidad de mutación a nivel molecular, que lleva implícito los cambios en la secuencia del código (Hombreiro, 2013): (AÑADIR FOTOGRAFÍA)

En base a este modelo, en los 60 se llegó a la conclusión de que el ADN contiene el código genético a través del cual, se podrían determinar las características de los individuos, permitiendo la identificación de cada persona como ser irrepetible y único (Alcoceba, 2018).

Así, en la década de 1960, los científicos descubrieron cómo la secuencia de nucleótidos en el ADN codifica la información genética. Marshall Nirenberg y Heinrich Matthaei fueron los primeros en identificar un código genético específico, demostrando que secuencias de tres nucleótidos (llamados codones) en el ADN correspondían a aminoácidos específicos en las proteínas.

A medida que avanzaba la tecnología, se desarrollaron técnicas cada vez más sofisticadas para secuenciar el ADN. En 1977, Frederick Sanger introdujo el método de secuenciación de Sanger, que permitía determinar la secuencia de nucleótidos en una muestra de ADN. Posteriormente, se desarrollaron técnicas de secuenciación de nueva

generación, como la secuenciación masiva paralela (NGS), que permiten secuenciar rápidamente grandes cantidades de ADN a un costo más bajo (Entrala, 2000).

Por su parte, Alec Jeffreys junto con sus colaboradores, llevaron a cabo en 1985 una investigación que sentó las bases de las técnicas de identificación biológica (Peregrino & Crespillo, 2021; Porti, 2014). Mientras investigaban el gen de la mioglobina, este grupo observó accidentalmente la repetición de una sección de ADN no codificante con variabilidad en la frecuencia de repetición de la secuencia de nucleótido, lo cual permitía distinguir el ADN de un individuo del de otro. Aunque su investigación no estaba enfocada en la genética forense este hallazgo sentó las bases de lo que los autores denominaron “fingerprint de ADN” o “huella genética” (Peregrino & Crespillo, 2021).

Por otra parte, resulta indispensable hacer alusión a los análisis STRs (Short Tandem Repeats/Repeticiones en Tándem Cortas) por medio de reacción en cadena de la polimerasa (PCR), que permitió analizar vestigios biológicos de interés forense en cantidades mínimas de ADN o cuando el mismo se encuentre deteriorado. La acción en cadena polimerasa o PCR, que fue descubierta en 1986 por el bioquímico estadounidense Kary Mullis, resultó ser una técnica revolucionaria para la Genética forense y la Biología molecular, haciendo posible el estudio de diversas muestras cuyo análisis antes era imposible (Álvarez, 2018).

Asimismo, uno de los logros más destacados en la historia del ADN fue el Proyecto del Genoma Humano, el cual tuvo comienzo en los años ochenta en Estados Unidos, bajo la dirección del Doctor Francis Collins, pero rápidamente se convirtió en un proyecto internacional, uniéndose otros países como China, Reino Unido, Francia, Japón o Alemania (Álvarez, 2018). El objetivo era conseguir descifrar la secuencia completa del genoma Humano. De este modo, se publicó en el año 2001 la totalidad del genoma humano y el proyecto se dio por finalizado en 2003, incluso antes de lo previsto. En dicho proyecto fueron identificados y secuenciados 35.000 genes del ADN humano, sin embargo, no se puede ignorar el hecho de que, actualmente, se desconoce la función de muchos de esos genes (Álvarez, 2018).

Finalmente, es importante resaltar que los avances en el campo de la informática han permitido el desarrollo de software que facilita el almacenamiento y la interconexión de datos proporcionados como resultado de la inclusión de perfiles genéticos elaborados

por laboratorios forenses. A modo de ejemplo, existe programas como CODIS, desarrollado por la agencia del FBI de Estados Unidos (Peregrino & Crespillo, 2021).

La importancia de las bases de datos creadas a partir de estos softwares especiales radica en que los perfiles genéticos por sí solos no tendrían una utilidad significativa y de identificación, como la que se obtiene al cruzar la información. Ese es el objetivo de las bases de datos. En el caso específico de la Genética Forense, desempeñan un papel fundamental al asistir a la justicia en la resolución de investigaciones, como por ejemplo en casos de delitos sexuales (Peregrino & Crespillo, 2021).

1.4 DEFINICIÓN DE ADN Y OTROS CONCEPTOS GENÉTICOS

La información genética de las células humanas se organiza específicamente en dos genomas: el ADN nuclear de herencia compartida por los dos progenitores y el ADN mitocondrial que transmiten exclusivamente las madres en sus óvulos. Asimismo, también cabe señalar la particularidad del ADN en el cromosoma Y, que solo afecta a los hombres.

1.4.1 ADN Nuclear

Dentro de cada célula, la mayor parte del ADN se encuentra en un compartimiento llamado núcleo, el cual está separado del resto (citoplasma) por una membrana llamada nuclear. El ADN nuclear se caracteriza por contener la mayor parte del material genético de un organismo y se organiza en cromosomas lineales (Alcoceba, 2018). Este es el responsable de transmitir la información genética de una generación a otra, por lo que contiene la mayoría de los genes que determinan los rasgos hereditarios de un organismo (Portin, 2014). Dentro de este ADN nuclear podemos distinguir entre ADN codificante y ADN no codificante.

El ADN codificante, también conocido como ADN genómico, es la forma de ADN que contiene los genes que codifican las instrucciones para la síntesis de proteínas y otros productos funcionales. Los genes son segmentos de ADN que contienen la información para la síntesis de una proteína. Tal y como se ha mencionado, se han descubierto 35.000 genes humanos, pero esa cifra solo representa una fracción ínfima, del ADN total de una célula (Alcoceba, 2018). De hecho, solo el 2% del genoma humano corresponde a ADN codificante, mientras que el porcentaje restante (la gran mayoría) es ADN no codificante (Álvarez, 2018; Prieto & Carracedo, 2013).

Por su parte, el ADN no codificante, se denomina de tal forma porque no codifica información para la síntesis de proteínas. No obstante, una fracción de este ADN resulta de gran interés para la genética forense, puesto que contiene segmentos de secuencias altamente variables, en las que se pueden encontrar diversos tipos de mutaciones conocidas como polimorfismos. De hecho, Alonso Alonso (2013, p. 1867), señala lo siguiente, *“el perfil genético que se obtiene del estudio de estas regiones variables de ADN no codificante es como el código de barras que se utiliza para clasificar los productos en un supermercado que nada nos dice de las características del producto pero nos sirve para identificarlo”*.

En resumen, aunque debemos considerar el ADN humano como una entidad completa, existen distintas partes del mismo. Por un lado, hay secciones que regulan la formación y expresión tanto de las características físicas como fisiológicas (codificante). Por otro lado, hay otras partes que no regulan nada y no tienen una función específica conocida, excepto por su papel evolutivo y en el mantenimiento de la estructura molecular (no codificante) (Hombreiro, 2013).

La molécula de ADN se localiza dentro de la mayoría de las células que forman los diferentes tejidos de un individuo (Hombreiro, 2013). La molécula está compuesta por 3.000 millones de eslabones denominados nucleótidos. De esta manera, la estructura de doble hélice del ADN revela una escalera retorcida compuesta por dos cadenas complementarias de nucleótidos. Asimismo, la cadena de ADN se encuentra de forma compacta, formando unas estructuras llamadas cromosomas (Hombreiro, 2013). El número de cromosomas es diferente en cada especie de seres vivos. En el caso de los humanos, la dotación cromosómica (salvo anomalías) está compuesta por 46 elementos organizados en 23 pares de cromosomas, de los cuales 22 son denominados “cromosomas autosómicos” o “autosomas” los cuales son idénticos en hombres y mujeres (Alonso, 2004). El par de cromosomas restantes se denominan sexuales, ya que son diferentes en función del sexo. En las mujeres se hayan dos elementos de morfología semejante (XX), mientras que en el caso de los hombres los elementos se configuran de manera distinta (XY) (Alonso, 2004). En definitiva, el ADN cromosómico (tanto autosómico como sexual) se denomina ADN Nuclear (ADNn) y existen solamente 2 copias del mismo en cada célula (una procedente del padre y otra procedente de la madre).

Por otra parte, el componente fundamental del nucleótido (eslabón de la cadena de ADN), son las bases nitrogenadas, las cuales son cruciales para la codificación de la

información genética y se dividen en cuatro tipos (Portin, 2014): adenina (A), timina (T), citosina (C) y guanina (G). El orden de secuencia de estos eslabones a lo largo de toda la cadena es prácticamente igual en todos los humanos, pero existen algunas zonas de la cadena que difieren de unos individuos a otros. Estas zonas, se denominan polimórficas y son de gran interés para la genética forense, ya que permite diferenciar unas muestras de otras. Un ejemplo de secuencia sería GATA o CTTA (repetidas n número de veces).

A este respecto, en genética, toda posición fija en un cromosoma se designa con el nombre genético de locus (loci, en plural). Y, a la selección de ciertos segmentos del código genético o loci que serán objeto de análisis y comparación con fines identificativos se les denomina marcadores. De modo que, un segmento de ADN con una ubicación física identificable en un cromosoma es un marcador (Alcoceba, 2018). Cada marcador puede manifestarse de diversas maneras en la población, puede adoptar múltiples valores, lo que implica que su estructura puede variar de un sujeto a otro con más o menos frecuencia. A su vez, a las diferentes formas que puede adoptar el código genético en cada loci se le denomina alelos (Alcoceba, 2018; Prieto & Carracedo, 2013).

También cabe distinguir entre genotipo y fenotipo. El genotipo se refiere al código genético en sí, a los cromosomas y a toda la información genética codificada, ya sea que se exprese o no. Por otro lado, el fenotipo se refiere a la manifestación externa del genotipo, es decir, a la suma de los caracteres observables en un individuo (Hombreiro, 2013).

Cada marcador tiene un nombre propio que suele hacer referencia a su localización dentro de la molécula de ADN. Por su parte, la mayoría de alelos de cada marcador se representan con números. Dichos números representan el número de repeticiones, tándems o bloques que integran ese marcador (Tabla 1). Por ejemplo, un alelo determinado puede estar configurado por ACTT, ACTT, ACTT... Hasta un número n de repeticiones de esa secuencia (Prieto & Carracedo, 2013).

Tabla 1:

Alelos detectados en la población española

MARCADOR	ALELOS DETECTADOS EN LA POBLACIÓN ESPAÑOLA
CSF1PO	5,6,7,8,9,9.3,10,11
D8S179	7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17 y 18
HUMTH01	8,9,10,11,12,13,14,15,16,17 y 18

Nota: Adaptado de “Aplicaciones Forenses del ADN”. Prieto Solla, L., 2004.

Cada persona hereda un alelo de su padre y otro de su madre. Si los alelos heredados en un marcador concreto coinciden diremos que el individuo es homocigoto y si difieren se tratará de un heterocigoto (Alcoceba, 2018; Prieto & Carracedo, 2013). De esta manera, un individuo que herede de ambos progenitores el alelo 9 en el marcador TH01, será homocigoto 9-9, y otro que herede el alelo 7 de su padre y el 9 de su madre será heterocigoto 7-9 (Alcoceba, 2018; Prieto, 2004).

Es de suponer que hay que analizar varios marcadores en una única muestra para poder identificarla, ya que dos muestras diferentes pueden coincidir por simple azar en alelos de un marcador. Cuanto mayor sea el número de marcadores analizados, más grande será la posibilidad de distinguir dos muestras sin error, y se podrá conseguir un perfil genético claro (Tabla 2). El perfil genético de un individuo o una evidencia consiste en la sucesión de los alelos que presenta en cada marcador (Prieto, 2004).

Tabla 2:

Ejemplo de perfil genético de una muestra biológica.

Muestra	TH01	TPOX	CSF1PO	D3S1358	VWA	FGA	D8S1179	D21S11	D18551	D5S818	SEXO
1	6-9.3	8-11	10-10	16-16	16-17	0-21	10-13	30-30	14-15	12-12	XY

Nota: Adaptado de “Aplicaciones Forenses del ADN”. Prieto Solla, L., 2004.

1.4.2 ADN Mitocondrial (ADNmt)

En el interior de las células eucariotas, como las células humanas, se encuentran pequeños orgánulos llamados mitocondrias, los cuales son responsables de la producción de energía a través de la respiración celular. Una característica única que las distingue de otros orgánulos en el citoplasma celular es que poseen su propio material genético, conocido como ADN mitocondrial (Hombreiro, 2013). Este pequeño genoma circular (de 16.569 nucleótidos) se hereda exclusivamente por la vía materna, ya que las mitocondrias no son aportadas por el espermatozoide sino por el citoplasma del óvulo (Alonso, 2004). El ADNmt se caracteriza, en primer lugar, por su gran sensibilidad, dado que en lugar de encontrarse en el núcleo de la célula (como el ADN nuclear), este se encuentra en todas las mitocondrias, las cuales varían en número según el tipo y estado funcional de la célula, oscilando entre 100 y 1000 por célula (Alonso, 2004). A su vez, cada mitocondria tiene entre 2 y 10 copias de ADNmt, lo que significa que el total de copias oscila entre 100 y

10.000, aumentando así la probabilidad de que algunas copias se conserven intactas a lo largo del tiempo sin sufrir degradación (Hombreiro, 2013). Asimismo, será de aplicación en aquellos casos en los que no sea posible la obtención de ADN nuclear (p.ej: tallos de pelos, restos óseos antiguos...) Y, en segundo lugar, el ADN mitocondrial está dotado de una alta variabilidad, suficiente para hacer una distinción entre linajes familiares y realizar estudios de parentesco (Alonso, 2004). No obstante, la variabilidad genética del ADNmt es menor que la observada en el ADN repetitivo (no codificante) del genoma nuclear. A consecuencia de ello, el perfil genético que se puede obtener a través del estudio del ADN mitocondrial presenta un carácter discriminatorio mucho más limitado (Alonso, 2004). No hay que olvidar que este ADN se hereda de manera inalterada de madres a hijos, por lo que todos los miembros de una familia que compartan la línea materna, tendrán exactamente el mismo perfil de ADN mitocondrial (salvo mutaciones). En definitiva, más que perfiles individualizados, este ADN permite identificar linajes maternos (Alonso, 2004; Hombreiro, 2013; Prieto, 2004).

Desde el punto de vista policial o de investigaciones penales, al no permitir la individualización de un perfil genético, no sería posible acusar o imputar a una persona en el tribunal de justicia, teniendo en cuenta que la frecuencia máxima de aparición del ADN mitocondrial en la población es de aproximadamente una persona de cada 5.000, por lo que se contemplaría un margen de error demasiado alto (Hombreiro, 2013). No obstante, en caso de que existan uno o varios sospechosos, se puede hacer uso de este ADN como prueba excluyente de aquellos que no coincidan con el perfil. Así como, en el caso de que existan otras evidencias, como estatura, edad, sexo, etc., la coincidencia del ADN mitocondrial proporciona una evidencia adicional que aumenta la seguridad en la identificación (Hombreiro 2013).

1.4.3 ADN Cromosoma Y

En genética forense se estudian fragmentos de ADN que están situados tanto en los autosomas como en los cromosomas Sexuales (XY). Debido a que el cromosoma Y solo se encuentra en varones, es fundamental conocer cómo se hereda. Este es transmitido exclusivamente por vía paterna a la descendencia masculina, y se mantiene en gran medida sin sufrir cambios a lo largo de las generaciones (Prieto, 2004). En este cromosoma, se encuentran regiones cortas de ADN repetitivo que varían en tamaño, y su estudio permite rastrear linajes paternos separados a través de varias generaciones (Hombreiro, 2013). Además, el cromosoma Y es una herramienta útil para obtener un

perfil genético específico de los hombres, lo cual es especialmente importante en la identificación de restos de semen y otros fluidos biológicos en caso de agresiones sexuales contra mujeres (Alonso, 2004).

Sin embargo, el análisis de las regiones cortas de ADN repetitivo en el cromosoma Y, tiene un poder de discriminación menor que el obtenido mediante el estudio de las regiones STR (Tándems cortos en repetición) autosómicas mencionadas anteriormente. Al igual que con el ADN mitocondrial, es importante tener en cuenta que el análisis genético del cromosoma Y no permite distinguir genéticamente entre miembros de una familia que comparten la misma línea paterna (Alonso, 2004).

Así pues, podríamos concluir que las técnicas utilizadas actualmente en genética forense incluyen el análisis de ADN nuclear, ADN mitocondrial y el cromosoma Y.

1.4.4 Los polimorfismos genéticos

- Polimorfismos en el ADN nuclear:

La Biología Molecular ha descubierto que existen variaciones en el ADN humano, específicamente en el ADN no codificante, que permiten la individualización de las personas. Estas variaciones, conocidas como polimorfismos genéticos, son responsables de la diversidad genética entre los individuos (Hombreiro, 2013). Mientras algunas variaciones tienen un impacto significativo en los genes (ADN codificante), muchas de ellas ocurren en el ADN no codificante, que no tiene una función específica (Hombreiro, 2013). En este sentido, cuando los biólogos hablan de presión selectiva, se refieren a la Teoría de la Selección Natural de Darwin. En pocas palabras, esta teoría establece que cualquier cambio o modificación en un organismo se mantendrá en las generaciones futuras si le proporciona una ventaja o no le causa perjuicio en su supervivencia. Si el cambio es perjudicial, es probable que no se transmita a la siguiente generación. Por lo tanto, una variación en el ADN codificante puede ser de gran importancia, como por ejemplo una mutación en un gen que causa una enfermedad genética. En contraste, el ADN no codificante, al no tener una función clara, no afecta la funcionalidad del organismo que ha experimentado una alteración o variación (Hombreiro, 2013). De modo que, dicha variación puede transmitirse a las generaciones siguientes. Esto significa que el ADN no codificante no está sujeto a una presión selectiva intensa y puede tener niveles altos de variación, lo que lo hace óptimo para diferenciar a los individuos (Hombreiro, 2013).

Existen diferentes tipos de polimorfismos, como los de secuencia y los de longitud. En los polimorfismos de secuencia o ADN repetido en tándem, la característica principal es la presencia de una secuencia de nucleótidos que se repiten consecutivamente un número específico de veces (Peregrino & Crespillo, 2021). Estas secuencias se encuentran distribuidas en todo el genoma y su variabilidad se debe a cambios en la cantidad de repeticiones de una secuencia central, también conocida como "core" o cuerpo de repetición. Dependiendo del tamaño de este núcleo repetitivo, podemos distinguir entre los polimorfismos STR o Repetición en Tándem Corta (también llamados microsátélites), que tienen un núcleo compuesto por dos a siete pares de bases, y los polimorfismos VNTR o Repetición en Tándem de Número Variable (también conocidos como minisátélites), que tienen un número de pares de bases superior a 7 (Peregrino & Crespillo, 2021). El core se denomina distintamente en función del número de bases que lo conforman (dinucleótidos, trinucleótidos, tetranucleótidos, pentanucleótidos, etc.) (Hombrieiro, 2013).

A modo de aclaración, consideramos oportuno recalcar que los microsátélites (siendo estos los más aplicados en genética forense) se caracterizan por tener repeticiones de tamaño reducido, generalmente de 2 a 6 pares de bases, y se denominan comúnmente STRs (Repetición en Tándem Corta, por sus siglas en inglés). Por ejemplo, un STR podría tener una estructura como ACTT ACTT ACTT ACTT ACTT ACTT ACTT ACTT..., con un número variable de repeticiones. Los individuos se diferencian por el número de repeticiones de esa secuencia en particular. Por ejemplo, un individuo con un marcador STR 8-12 significa que posee 8 repeticiones de la unidad de secuencia (ACTT) en un lugar específico de un cromosoma (locus génico) y 12 repeticiones en el locus correspondiente del cromosoma homólogo (Carracedo, 2014).

Los genetistas estiman que, si se analizara únicamente un polimorfismo, alrededor de dos de cada 300 personas tendrían la misma configuración o variante genética. Sin embargo, a medida que aumentamos la cantidad de polimorfismos estudiados, disminuye la probabilidad de encontrar coincidencias entre dos individuos (Hombrieiro, 2013).

Una vez considerados los conceptos anteriores, cabe explicar que se han llegado a descubrir cientos de polimorfismos a lo largo del genoma. No obstante, en lo que respecta a la identificación humana, se utilizan entre 7 y 25 marcadores genéticos seleccionados por su poder de discriminación, ubicación cromosómica, facilidad de

análisis y bajo índice de mutación. Podrían utilizarse un mayor número, pero aumentaría los costes analíticos y teniendo en cuenta que un número incluso inferior a 10 permitiría identificar genética y estadísticamente a un humano, dicho intervalo es más que suficiente (Hombreiro, 2013).

Por tanto, al analizar múltiples marcadores, la probabilidad de coincidencia entre dos individuos se vuelve muy baja. Por ejemplo, al estudiar de diez a veinte marcadores, la probabilidad de error en el caso más desfavorable es de aproximadamente una entre 30.000 millones. Considerando que la población mundial es de 7.000 millones de personas aproximadamente, las pruebas de identificación genética resultan científica y estadísticamente casi infalibles, aunque su valoración jurídica y procesal depende de los tribunales en el contexto de un caso específico (Hombreiro, 2013).

En conclusión, la Genética Forense se basa en el análisis de estos polimorfismos genéticos distribuidos en marcadores genéticos para resolver casos y establecer vínculos de parentesco, brindando herramientas poderosas para la identificación y la individualización de las personas.

- Polimorfismos en el ADN mitocondrial:

Hasta hace poco tiempo, la investigación sobre los polimorfismos de ADN se había centrado principalmente en el análisis de marcadores nucleares. Sin embargo, en los últimos años ha surgido un creciente interés en el estudio del genoma mitocondrial (Carracedo, 2014). El ADN mitocondrial (ADNmt) tiene múltiples aplicaciones en el campo de la Genética Forense, principalmente debido a su modo de herencia, su alta tasa de mutación y la abundancia de moléculas presentes en cada célula. Esto permite su análisis en condiciones en las que otros marcadores nucleares no son adecuados debido a la degradación o escasez de material biológico (Hombreiro, 2013; Carracedo, 2014).

El genoma mitocondrial consta de dos regiones principales: una región codificante más amplia que abarca alrededor del 90% del ADNmt, y una región más pequeña de aproximadamente 1.2 kb conocida como región control. Esta región control es altamente polimórfica y contiene dos regiones hipervariables bien definidas, conocidas como HVI y HVII, cada una con una longitud de aproximadamente 400 pb (Carracedo, 2014). Estas características hacen que esta región no sea selectivamente neutra en su conjunto. Además, el ADNmt evoluciona de 5 a 10 veces más rápido que los segmentos promedio del ADN nuclear, lo cual resulta una mezcla intracelular de moléculas mutantes y

normales que puede complicar la interpretación forense, pero también proporcionar información relevante para la identificación (Carracedo, 2014). De hecho, el ADNmt es de particular importancia en la genética forense en dos circunstancias: el análisis de pelos y cabellos, y el análisis de muestras degradadas (Hombreiro, 2013; Carracedo, 2014).

También está ganando importancia el estudio de variaciones nucleotídicas simples (SNPs) en la región codificante del ADNmt, lo cual permite una definición más precisa del haplogrupo (linaje genético) al que pertenece una muestra y aumenta su valor para la identificación. Por ejemplo, un porcentaje significativo de muestras de origen europeo pertenecen al haplogrupo H, lo que implica un linaje común. Para diferenciar entre individuos dentro de este grupo, es necesario recurrir al análisis de SNPs en la región codificante, lo que mejora considerablemente el poder del análisis (Hombreiro, 2013, Carracedo, 2014).

En la actualidad, la gran mayoría de los laboratorios especializados en Genética Forense emplean el ADN mitocondrial (ADNmt) como parte de sus análisis. No obstante, uno de los desafíos principales en su utilización radica en el control de la contaminación y la correcta valoración estadística de los resultados obtenidos. Con el fin de abordar esta cuestión, la Sociedad Internacional de Genética Forense (ISFG) ha emitido recomendaciones rigurosas para garantizar el uso apropiado del ADNmt en los análisis forenses, las cuales revisaremos más adelante (Carracedo, 2014).

- Polimorfismos en el ADN del cromosoma Y:

Aunque el cromosoma Y solo representa el 2% del material genético humano, posee características distintivas que lo hacen muy útil tanto en el ámbito forense como antropológico. Una de las características más importantes es que la mayor parte del cromosoma Y no experimenta recombinación durante la meiosis. Esto significa que la variabilidad (polimorfismos) presentes en esta región se transmiten de generación en generación a lo largo de la línea paterna. La única fuente de variación en estas secuencias es a través de eventos mutacionales (Carracedo, 2014).

Los microsatélites ubicados en el cromosoma Y han adquirido gran importancia en los marcadores genéticos utilizados en la investigación forense. Son especialmente útiles en casos de paternidad difíciles de determinar y en situaciones de crímenes en los que aparezcan mezclas de ADN masculino y femenino (Carracedo, 2014). Como en los casos de delincuencia sexual, tal y como se ha expresado anteriormente. Son importantes

los polimorfismos del cromosoma Y en el análisis de este tipo de muestras, en las que el espermatozoides y otras células del agresor están mezcladas con células femeninas de la víctima, ya que si se utilizan marcadores autosómicos, lo único que se consigue es amplificar preferentemente el componente mayoritario (generalmente el ADN femenino), lo que oculta el perfil genético del agresor (Carracedo, 2014).

Además de los microsatélites, los polimorfismos nucleotídicos simples (SNPs) del cromosoma Y están ganando cada vez más importancia. Estos SNPs complementan la información proporcionada por los STRs y son útiles para determinar el origen geográfico de la persona que dejó la muestra. Esto debido a la variabilidad geográfica que muestran los polimorfismos del cromosoma Y, lo que implica que diferentes haplogrupos y polimorfismos pueden ser más frecuentes o regiones geográficas (Carracedo, 2014).

La Sociedad Internacional de Genética Forense (ISFG) ha publicado recomendaciones recientes para el uso adecuado de estos polimorfismos del cromosoma Y, incluyendo su nomenclatura y la evaluación estadística de los resultados, dado que, al igual que con el ADNmt, existe la necesidad de contar con grandes bases de datos poblacionales para estimar la frecuencia de los haplotipos (Carracedo, 2014).

1.4.5 El uso de ADN como prueba científica

En todos los delitos contra las personas, como en las agresiones sexuales, el contacto existente entre agresor y víctima, o con su entorno, deja siempre vestigios que se transfieren de un cuerpo a otro, al lugar de los hechos y viceversa. Una prueba forense, en el más amplio sentido, supone cualquier elemento o información sobre un presunto delito que se considera relevante de cara a la averiguación de los hechos (Magalhaes et al., 2015). Por tanto, resulta útil para (i) guiar la investigación policial; (ii) garantizar una identificación confiable del perpetrador; (iii) absolver a un sospechoso o acusado de un crimen; (iv) respaldar o contradecir el testimonio de una víctima, testigo o sospechoso, y, en consecuencia, fomentar nuevas investigaciones policiales; (v) proporcionar información sobre el lugar del crimen; (vi) ofrecer pruebas que confirmen la ocurrencia del incidente reportado (Magalhaes et al., 2015).

El ADN se trata de la única técnica forense que presume un carácter indubitadamente científico, dado que no se basa en la comparación subjetiva de dos elementos, como es el caso de la dactiloscopia, o un examen de caligrafía, sino que

consiste en el cotejo de valores numéricos que no necesita de la experiencia o interpretación del perito que los realiza (Alcoceba, 2018).

En el contexto de los crímenes sexuales, las pruebas genéticas basadas en el ADN se han convertido en una herramienta invaluable para la identificación y condena de los delincuentes. Estas pruebas, conocidas como pruebas de ADN forense, implican la comparación de muestras de ADN obtenidas en la escena del crimen con las muestras de referencia de posibles sospechosos. La tecnología utilizada en estas pruebas ha avanzado considerablemente en las últimas décadas, permitiendo la identificación precisa del ADN incluso a partir de pequeñas cantidades de muestras biológicas, como cabellos, semen o saliva (Alcoceba, 2018).

La introducción de las pruebas de ADN en la justicia penal ha llevado a la resolución de numerosos casos, tanto recientes como antiguos, y ha proporcionado pruebas irrefutables que han llevado a la condena de los delincuentes y a la exoneración de personas inocentes. Estas pruebas son altamente confiables y se basan en la premisa de que el ADN de cada individuo es único, con la excepción de los gemelos idénticos. A través del análisis de las secuencias de ADN, los expertos pueden establecer perfiles genéticos que son altamente específicos y que permiten una identificación precisa (Alcoceba, 2018).

2 MARCO NORMATIVO

Una vez analizados los conceptos teóricos básicos, resulta imprescindible atender a la regulación de las pruebas genéticas en nuestra legislación, así como a los aspectos legales que implican la aplicación de estas pruebas en crímenes sexuales.

En relación al uso del análisis de ADN como técnica de investigación penal, el principio de legalidad establece la necesidad de contar previamente con una normativa de rango legal, en el caso del ordenamiento jurídico español, respaldada por una ley orgánica de acuerdo al artículo 81 de la Constitución Española (Alcoceba, 2018). Esta normativa debe amparar tanto la restricción del derecho a la integridad e intimidad corporal que implica la toma de muestras, como la afectación a la intimidad genética o autodeterminación informativa derivadas del análisis de las mismas (Alcoceba, 2018).

Además, para garantizar el cumplimiento de la reserva de ley orgánica, que es propia de toda regulación que limite los derechos fundamentales, se requiere una cobertura normativa adecuada que abarque los posibles usos del perfil genético obtenido

a través del análisis. Esto incluye su comparación e inclusión en una base de datos, así como su cesión a terceros (Alcoceba, 2018). Tanto la normativa habilitante establecida por las autoridades competentes para autorizar y llevar a cabo cada una de estas acciones, como las normas que originan los instrumentos técnicos y jurídicos necesarios para llevar a cabo la diligencia, deben ser claras, específicas e incluir las condiciones en las que se deben realizar estas acciones, así como los derechos y garantías que deben ser otorgados al sujeto afectado por las mismas (Alcoceba, 2018).

En este sentido, podemos distinguir dos momentos clave, en los que interviene la legislación para la extracción y uso de ADN en el proceso penal: la recogida de muestras (mediante la inspección ocular y las intervenciones corporales directas) y la incorporación a las bases de datos genéticos (Alcoceba, 2018).

2.1 REGULACIÓN DE CRÍMENES SEXUALES

El presente trabajo trata concretamente de las medidas de investigación que se toman en caso de crímenes sexuales, de modo que es oportuno definir primeramente a qué nos referimos cuando hablamos de delitos sexuales.

En España, los delitos sexuales se encuentran regulados en el Código Penal (CP), específicamente en su Título VIII, de delitos contra la libertad sexual. En este Título se regulan una amplia variedad de delitos de índole sexual (exhibicionismo, acoso sexual, prostitución...) pero en este caso, únicamente nos incumben aquellos derivados del Capítulo I, de las agresiones sexuales, recogidas en:

El artículo 178 CP, el cual contempla como agresión sexual, cualquier acto que atente contra la libertad sexual de otra persona sin su consentimiento, empleando violencia, intimidación o abuso de una situación de superioridad o vulnerabilidad de la víctima.

Por otra parte, el artículo 179 CP señala que, cuando dicha agresión sexual consista en acceso carnal por vía vaginal, anal o bucal, (o incluso mediante la introducción de objeto por alguna de las dos primeras vías) se tratará penalmente como una violación.

Por último, el artículo 180 CP contempla una serie de agravantes de posible aplicación a cualquiera de los dos artículos anteriores.

2.2 INSPECCIÓN OCULAR

La inspección ocular se regula en los artículos 326 a 333 LECrim y se practica por el Juez de Instrucción (J.I.). Se trata de un examen personal y directo (ni a través de un testigo ni a través de un perito), realizado por el Juez de Instrucción directamente, en primera persona (Barona et al., 2022). De modo que, mediante este acto de investigación, el Juez realiza una comprobación personal del lugar de los hechos, observando lo ocurrido y describiéndolo, además de recoger los vestigios, restos y huellas del delito. Todo ello tiene lugar, en principio, en la escena del crimen (Barona et al., 2022).

La LECrim establece en cuanto a la ejecución de esta medida las siguientes normas (Barona et al., 2022):

- Si el hecho punible ha dejado huellas, deben recogerse.
- Si las huellas o vestigios han desaparecido, el JI deberá averiguar por qué.
- Si el hecho no ha dejado huellas el JI debe hacer constar por otros medios la ejecución del delito y sus circunstancias.
- En general, el JI deberá describir todo aquello que pueda tener relación con el hecho, y si es conveniente deberá también dejar constancia gráfica de todo. Por ejemplo, elaborando un croquis, consistente en levantar un plano del lugar lo suficientemente detallado, que pueda contribuir al esclarecimiento y la comprobación de los hechos.
- Para ayudar al JI en la interpretación y averiguación de los hechos, este puede también consultar in situ a los testigos del mismo, e incluso consultar el parecer de los peritos.

Como la inspección ocular, puede concebirse en ciertas circunstancias y, a veces, es irrepetible, puede dar lugar a una prueba preconstituida. Consecuentemente, si en ese momento hubiera algún sospechoso se le debe avisar de la práctica de esta diligencia, por si quisiera intervenir, garantizando así el derecho de defensa y de contradicción (Barona et al., 2022). En este sentido, los derechos del investigado para esta diligencia en concreto, se encuentran regulados en el art. 333 LECrim, que garantiza su derecho de asistencia, conjuntamente con su abogado defensor, si lo desea, pudiendo realizar en el acto las observaciones que consideren oportunas (pudiendo consignarse por diligencia, si no fuesen aceptadas) (Barona et al., 2022).

De todo lo practicado se levantará acta firmada por el Juez de Instrucción, el Fiscal, en caso de que asista, el Secretario Judicial y las personas que se hallen presentes (art. 332 LECRIM). Como la inspección ocular puede implicar la reconstrucción del hecho, cuando se adopte, esta reconstrucción deberá realizarse tomando las medidas necesarias para que el hecho se reproduzca tal y como se supone que se produjo (Barona et al., 2022).

2.3 INTERVENCIONES CORPORALES DIRECTAS

Hasta que se aprobó la Ley Orgánica 15/2003, el 25 de noviembre, que modificó la Ley Orgánica 10/1995, el 23 de noviembre, del Código Penal, no se reguló de manera explícita en nuestra legislación la posibilidad de practicar pruebas de ADN e intervenciones corporales con fines de identificación genética (Álvarez-Buján, 2017). Antes de la entrada en vigor de esta ley, existía un vacío legal evidente, que fue llenado en cierta medida por la doctrina y la jurisprudencia, que se basaron en los mandatos constitucionales, las pautas establecidas en la normativa internacional y las directrices del Tribunal Europeo de Derechos Humanos (Álvarez-Buján, 2017). Estas medidas se tomaron con la necesidad de emitir una resolución judicial fundamentada que ordenara la realización de tales acciones para suplir inicialmente la falta de habilitación legal. La aprobación de la Ley Orgánica 15/2003 modificó los artículos 326 y 363 de la Ley de Enjuiciamiento Criminal (Álvarez-Buján, 2017).

En relación con la recogida de muestras biológicas a sospechosos, el artículo 326 estableció que el juez de Instrucción adoptará u ordenará a la Policía Judicial o al médico forense que tome las medidas necesarias para garantizar la autenticidad de la recogida, custodia y examen de las muestras que puedan contribuir a esclarecer el hecho investigado (Álvarez-Buján, 2017).

Por otro lado, el artículo 363 contempló la posibilidad de recurrir a la práctica de intervenciones corporales con fines de identificación genética, siempre y cuando existan razones justificadas y se respeten los principios de proporcionalidad y razonabilidad (Álvarez-Buján, 2017; Álvarez, 2018). A pesar de estas reformas, el contenido de ambos artículos seguía siendo insuficiente para abordar las lagunas existentes en la regulación de la materia. Además, el artículo 363 planteó problemas interpretativos significativos, ya que no especificaba los sujetos que podían ser objeto de estas medidas, haciendo referencia únicamente al sospechoso, ni ofrecía una solución clara para los casos en los que el sospechoso/imputado se negara a someterse a ellas (Álvarez-Buján, 2017).

Hasta la Ley Orgánica 1/2015, no se resolvió la problemática de la obtención de muestras en el caso de negativa por parte del afectado. Desde entonces, hay dos artículos referentes a la regulación del uso de la coacción para la extracción de muestras biológicas:

Artículo 129 bis CP (añadido tras la reforma de la Ley Orgánica 1/2015): es el primer supuesto donde se contempla el uso de la coacción para extraer una muestra biológica. Se contempla en casos concretos (Barona et al., 2022); (i) Si se trata de condenados por la comisión de un delito grave contra la vida, la integridad de las personas, la libertad, la libertad o indemnidad sexual, de terrorismo, o cualquier otro delito grave que conlleve un riesgo grave para la vida, la salud o la integridad física de las personas; (ii) o cuando de las circunstancias del hecho, antecedentes, valoración de su personalidad, o de otra información disponible pueda valorar que existe un peligro relevante de reiteración delictiva.

En cualquiera de dichos casos, si el afectado se opusiera a la recogida de las muestras, el juez o tribunal podrá acordar la toma de muestras biológicas de su persona y la realización de análisis para la obtención de identificadores de ADN e inscripción de los mismos en la base de datos policial, por si en un futuro se requiriese, para cotejarlo en situaciones de reiteración delictiva (Barona et al., 2022). De modo que, podrá imponerse su ejecución forzosa mediante el recurso a las medidas coactivas mínimas indispensables para su ejecución, que deberán ser en todo caso, proporcionadas a las circunstancias del caso y respetuosas con su dignidad. Así pues, únicamente podrán llevarse a cabo los análisis necesarios para obtener los identificadores que proporcionen exclusivamente, información genética reveladora de la identidad de la persona y de su sexo (Barona et al., 2022).

Por su parte, el artículo 520.6. LECrim (añadido a partir de la LO 13/2015). Hace referencia al contenido de la asistencia letrada. En concreto la letra c) de dicho artículo indica que ese derecho incluye el derecho a ser informado por el letrado de las consecuencias que pudieran tener la prestación o negativa a prestar consentimiento para determinadas diligencias (Barona et al., 2022). Si el detenido se opusiera a la recogida de las muestras mediante frotis bucal, conforme a las previsiones de la LO 10/2007, de 8 de octubre, reguladora de la base e de datos policial sobre identificadores obtenidos a partir del ADN, el juez de instrucción, a instancia de la Policía Judicial o del Ministerio Fiscal, podrá imponer la ejecución forzosa de tal diligencia mediante el recurso a las medidas coactivas mínimas indispensables, que deberán ser proporcionadas a las circunstancias del caso y respetuosas con su dignidad (Barona et al., 2022).

También hay que tener presente el art. 15 de la Constitución Española (CE) recoge el derecho fundamental a la vida y a la integridad física y moral (Barona et al., 2022). Sin embargo, la integridad física puede verse afectada por determinadas medidas de investigación criminal. Por ello, los Actos de Instrucción que puedan afectar a la misma deben de cumplir una serie de requisitos (Barona et al., 2022): (i) Deben ser acordados exclusivamente mediante auto del Juez de Instrucción, salvo que el titular del derecho preste su consentimiento, en cuyo caso pueden ser acordados por el Ministerio Fiscal Policía Judicial; (ii) ser practicadas por expertos o profesionales; (iii) en ningún caso se debe acordar la medida cuando haya grave peligro para salud del afectado.

Dicho esto, aunque las diligencias pueden ser muy variadas, singularmente, la toma de muestras para esclarecer el perfil genético de una persona se puede realizar a través de dos diligencias concretas (Barona et al., 2022): (i) extracciones de sangre; (ii) análisis de líquidos humanos (saliva, semen, orina, etc.).

Este tipo de pruebas, afectan a varios derechos constitucionales del investigado, además de la integridad física (intimidad, a no declarar contra sí mismo, defensa). Dado que únicamente se puede practicar a efectos identificadores y de archivo (nunca de ADN codificante) en una base de datos específica, pueden variar los derechos afectados (Barona et., al 2022).

2.4 REGULACIÓN BASES DE DATOS DE ADN

La práctica de pruebas de ADN y el uso de bases de datos exhaustivas de perfiles genéticos son herramientas que tienen un doble propósito. Por un lado, contribuyen a castigar comportamientos delictivos, especialmente aquellos de gran gravedad y en casos de reincidencia, donde estas bases de datos demuestran su mayor eficacia. Por otro lado, su función se extiende más allá, ya que también actúan como medida preventiva para reducir el índice de criminalidad y proteger los derechos y libertades de la ciudadanía en general (Álvarez, 2018).

En España, la Ley Orgánica 10/2007, de 8 de octubre, reguladora de la base de datos policial sobre identificadores obtenidos a partir del ADN, fue aprobada en 2007. A partir de su entrada en vigor, todos los archivos y bases de datos existentes hasta ese momento en el ámbito de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado se integraron en la base de datos creada por esta ley (Alcoceba, 2018). Además, como se explica en la Exposición de Motivos de dicha norma, se previó la posibilidad de integrar en el futuro, mediante la suscripción de un convenio correspondiente, otros archivos, registros o bases

de datos identificativos obtenidos a partir del ADN que no estuvieran bajo la dependencia de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (Alcoceba, 2018).

A este respecto la decisión 2008/615/JAI de 23 de junio, de acuerdo con el Tratado de Prüm, estableció una cooperación transfronteriza (particularmente para luchar contra el terrorismo y la delincuencia transfronteriza). De esta manera, una autoridad policial europea puede requerir de colaboración a la autoridad española si los datos se encuentran en su base de datos (Álvarez, 2018). Así, puede existir cooperación entre las autoridades competentes en investigación penal de la Unión Europea.

La información inscribible en una base de datos, se caracteriza por ser de alta sensibilidad, por tanto debe acotarse. Solo podrán ser inscritos perfiles de ADN que sean reveladores de la identidad del sujeto (la misma que ofrece una huella dactilar, por ejemplo) y de su sexo, pero en ningún caso los de naturaleza codificante, que permitan revelar cualquier otro dato o característica genética. Así mismo lo reitera en su art. 4, la LO 10/2007 (Álvarez, 2018; Alcoceba, 2018; Álvarez-Buján, 2017).

Para garantizar una cierta uniformidad en la actuación, y para garantizar que no se van a cometer excesos, en el ámbito de la Unión Europea, el Consejo de la Unión Europea, mediante distintas resoluciones (1997, 2001, 2009), se establecen los distintos marcadores o contenidos del ADN que van a examinarse con fines forenses (Álvarez, 2018; Alcoceba, 2018).

Por otra parte, de acuerdo con el principio de proporcionalidad, se deberá ponderar el uso de estas técnicas genéticas, ya que los datos no pueden ser archivados de forma indiscriminada. Se establece que, podrán inscribirse datos identificativos sin el consentimiento del afectado cuando se trate de alguno de los delitos graves mencionados anteriormente (contra la vida, integridad física, indemnidad e integridad sexual, terrorismo, etc.). Aunque el art. 3.2 de esta ley recoge la posibilidad de inscripción de los datos identificativos obtenidos a partir del ADN cuando el afectado lo hubiera consentido (Álvarez, 2018).

Este mismo artículo, señala en relación a la procedencia de muestras que, deben ser muestras de ADN o fluidos que hayan sido hallados. Tal y como se ha referido anteriormente, se contemplan los perfiles de ADN dubitados e indubitados. Cuando se ignora la procedencia se denominan perfiles dubitados, bien se aprobe que se hallan en la escena del crimen, en el cuerpo del delito, etc. Mientras que, los perfiles indubitados se corresponden con persona concretas (sospechosas, detenidas, víctimas) (Alcoceba, 2018).

Por su parte, el art. 7.1 de la LO 10/2007 señala que solo tendrán acceso y posibilidad de utilizar las bases de datos las Unidades de Policía Judicial de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado, al igual que autoridades Fiscal y Judicial. En lo que respecta a la cesión de datos, podrán cederse, según el art. 7.2, a las autoridades Policiales, Fiscales y Judiciales de terceros países, siempre que se firme el correspondiente convenio de colaboración internacional. También podrán cederse, en su caso, a las Policías Autonómicas con competencia en la materia y al Centro Nacional de Inteligencia (Álvarez, 2018).

Por último, cabe resaltar que los datos de perfiles genéticos no pueden almacenarse sin límite temporal alguno, dado que sería desproporcionado y lesionaría el derecho a la intimidad genética (Álvarez, 2018). A este respecto, en el art. 9 se habla de varios supuestos que indican los distintos límites temporales en función de la situación procesal de las personas afectadas:

La cancelación se dará cuando se extingan los antecedentes penales los casos en que se hubiese dictado sentencia condenatoria firme, o absolutoria por concurrir causas eximentes que excluyen la imputabilidad o culpabilidad (Álvarez, 2018).

La cancelación se dará en el tiempo señalado en la ley para la prescripción del delito, y, en todo caso, cuando se haya dictado auto de sobreseimiento libre o sentencia absolutoria, por causas diferentes a las mencionadas en el párrafo anterior (Álvarez, 2018).

Finalmente, en los supuestos de muestras anónimas procedentes de perfiles dubitados, se conservarán hasta que desaparezca el anonimato, indefinidamente hasta que sean indubitadas (Álvarez, 2018).

En relación a todo lo expuesto en el marco normativo, se puede concluir que el análisis genético forense debe contar con una adecuada previsión legal, al igual que cualquier diligencia de investigación que limite los derechos fundamentales. Es necesario que la norma habilitante sea clara y detallada, de manera que se pueda prever el nivel de intromisión al que la persona afectada puede estar sujeta, con el objetivo de brindarle una protección efectiva contra la arbitrariedad de las autoridades públicas (Álvarez-Buján, 2017; Alcoceba, 2018).

Esta exigencia se considera cumplida por el ordenamiento jurídico español en lo referente al tratamiento, comparación, registro en bases de datos y transferencia del perfil genético (correspondiente a la segunda, tercera y cuarta etapa mencionadas anteriormente), gracias a la Ley Orgánica 10/2007. Sin embargo, en lo que respecta a la toma de la muestra, la escasa regulación presente en la Ley de Enjuiciamiento Criminal parece resultar insuficiente frente a las exigencias europeas y constitucionales de claridad y detalle que toda ley que autorice la restricción de derechos fundamentales debe cumplir (Álvarez-Buján, 2017; Alcoceba, 2018).

El legislador, consciente de esta deficiencia normativa, ha intentado corregirla mediante la inclusión de una regulación más amplia y detallada sobre este tema en todas las propuestas legislativas presentadas desde la promulgación de la Ley Orgánica 10/2007, con el objetivo de modificar o reemplazar la actual ley procesal penal (Álvarez-Buján, 2017). Sin embargo, ninguna de estas propuestas ha tenido éxito, lo que significa que la falta legislativa persiste, a pesar de que se ha abordado en gran medida mediante una extensa jurisprudencia del Tribunal Supremo y el Tribunal Constitucional, quienes, en su función de crear derecho judicialmente, han respondido (no siempre de manera coherente) a las cuestiones que el legislador dejó sin resolver (Álvarez-Buján, 2017).

Dado el alto potencial perjudicial de esta diligencia, se entiende que su regulación debe ser especialmente cuidadosa para permitir que la persona afectada pueda anticipar el grado de intromisión al que puede ser sometida. No se puede dejar en manos de una jurisprudencia itinerante asuntos tan trascendentales como el grado de coacción física al que las fuerzas y cuerpos de seguridad del Estado están legitimadas para obtener la muestra (Álvarez-Buján, 2017).

3 CONCEPTOS TEÓRICOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Una vez repasados el ADN y sus características más importantes, así como la regulación del uso de ADN en la legislación española, es momento de adentrarse en los conceptos teóricos de interés para esta investigación. En este sentido, se analizarán una a una las fases implicadas en el procedimiento de aplicación de pruebas genéticas en el proceso penal.

Al sistematizar el trabajo de la genética forense en un caso criminal, podemos definir una serie de etapas o fases de la siguiente manera (Hombreiro, 2013): (i) Recopilación de evidencias y vestigios: se recogen las trazas biológicas relevantes y se

envían al laboratorio. Aunque no es una fase analítica en sí misma, el éxito de las etapas posteriores depende de su correcta ejecución. (ii) Realización de análisis de polimorfismos de ADN: se llevan a cabo los análisis para obtener los perfiles genéticos correspondientes. (iii) Comparación y cotejo de resultados: se comparan los resultados obtenidos con muestras indubitadas en casos de identificación, perfiles genéticos dudosos en casos de relación o análisis de información criminal, o genotipos obtenidos de padres o familiares en casos de paternidad o parentesco. (iv) Estudio matemático-estadístico de los resultados: se realiza un análisis matemático y estadístico de los resultados para una correcta valoración de la prueba por parte de los Tribunales de Justicia. (v) Elaboración del informe pericial requerido.

Por nuestra parte, tomando de referencia a este autor hemos decidido distinguir siete fases principales: (i) recogida de muestras; (ii) análisis de ADN; (iii) interpretación de resultados y utilización de bases de datos; (iv) informe forense final; (v) valoración de la prueba pericial por parte del juez. Además de dichas fases, es esencial en el procedimiento la cadena de custodia, un elemento muy importante que debe mantenerse en la transición de una fase a otra.

Asimismo, se tratarán otros temas de interés como: (i) las ventajas de las pruebas genéticas en contraste con otras pruebas periciales; (ii) las posibles limitaciones que puedan surgir del uso de pruebas genéticas en crímenes sexuales; (iii) y, las técnicas innovadoras que puedan resultar eficaces de cara al futuro.

Por último, antes de comenzar a examinar el tema que nos ocupa, resulta necesario diferenciar los dos tipos de muestra con los que se trabaja en la investigación de un hecho delictivo: Las muestras dubitadas o evidencias, son aquellos restos biológicos de procedencia desconocida, como por ejemplo los que se recogen en la escena del delito o de algún cadáver sin identificar. En definitiva, muestras que no sabemos o no tenemos claro a quien le pertenecen (Prieto, 2004). Por otra parte, las muestras indubitadas o de referencia son restos biológicos de procedencia conocida, sabemos de quien son, como en el caso de las muestras tomadas directamente del cuerpo del agresor, o sospechoso (Prieto, 2004).

3.1 CADENA DE CUSTODIA

Si el objetivo es respaldar el hecho probado con pruebas y demostrar la culpabilidad o inocencia del presunto autor, es necesario presentarlas en el proceso penal.

Para lograr esto, primero se deben encontrar las pruebas y luego se deben conservar, transportar, analizar y remitir al órgano judicial a través de un procedimiento que garantice y controle la integridad de la prueba, conocido como cadena de custodia (López Valera, 2018).

De esta manera, la cadena de custodia se puede definir como el conjunto de acciones que involucran la recolección, el transporte y la custodia de las evidencias obtenidas durante una investigación criminal, con el propósito de garantizar la autenticidad, la integridad y la preservación de la prueba (Fernández de Simón & Alonso, 2014).

Asimismo, en el ámbito práctico y académico estadounidense, la cadena de custodia se define como un proceso para documentar, recopilar y proteger las evidencias. Donde la creación y el mantenimiento de la cadena de custodia implica registrar detalladamente dónde se encontró la evidencia y cualquier evento relacionado con la evidencia antes del juicio (Leintz, 2016).

Como ha afirmado repetidamente nuestro Tribunal Supremo, el problema que plantea la cadena de custodia es asegurar que desde el momento en que se recogen los vestigios relacionados con el delito hasta que se convierten en pruebas en el momento del juicio (que estará sujeto a la inmediación, publicidad y contradicción de las partes durante la vista), sea lo mismo (López Valera, 2018). Por lo tanto, es a través de la correcta cadena de custodia como se garantiza la "mismidad" de la prueba. Si el procedimiento de garantía y control de la prueba de ADN no se lleva a cabo de manera correcta, podría resultar en la nulidad de la prueba o, al menos, no ser tomada en cuenta por el Tribunal. Para evitar la invalidez de la prueba, la cadena de custodia debe llevarse a cabo de manera ordenada y sistemática, garantizando su correcto seguimiento desde el descubrimiento de las muestras hasta su remisión al juzgado (Aldana, 2018; López Valera, 2018).

En este sentido, la cadena de custodia comprende una serie de etapas o eslabones llevados a cabo de manera legítima y científica durante la investigación judicial, con el objetivo de: a) evitar la alteración o destrucción de los indicios materiales desde el momento de su recolección y posteriormente, y b) brindar plena garantía científica de que lo analizado en el laboratorio forense o presentado en el juicio es exactamente lo mismo que se obtuvo o decomisó en la escena del delito u otro lugar relacionado con el hecho (López Valera, 2018).

A partir de esta conceptualización, se pueden definir una serie de funciones y garantías que debe cumplir la cadena de custodia, para que su validez en el proceso penal no se vea menoscabada (López Valera, 2018):

Control de la prueba: un mecanismo diseñado para verificar, inspeccionar e intervenir legalmente en las fuentes de prueba, siguiendo un protocolo preestablecido a lo largo de todo el proceso de la prueba, con el fin de otorgarle validez y confiabilidad.

Trazabilidad de las evidencias: un seguimiento continuo de los objetos y muestras biológicas custodiadas y analizadas, registrando todas las actividades realizadas por cada persona que ha estado en contacto con las muestras de ADN.

Acreditación documental: documentación de todas las operaciones y personas que individualmente han recogido, transportado, custodiado, conservado, analizado, depositado y destruido las evidencias o los resultados de su análisis.

Mismidad de la prueba: garantía de que lo que se traslada y analiza es idéntico en todo momento, asegurando que las evidencias se mantengan constantes y cumplan con los principios procesales de inmediación, publicidad y contradicción de las partes para constituirse como prueba ante los jueces.

Autenticidad, integridad e indemnidad de las evidencias: se verifica que las evidencias estén debidamente acreditadas, completas en todas sus partes y sin sufrir daños o alteraciones que puedan contaminarlas, modificarlas, reemplazarlas, deteriorarlas o destruirlas.

Licitud, legitimidad y validez de las pruebas: se obtienen y manipulan las muestras respetando estrictamente la legalidad vigente, así como los derechos fundamentales de las personas involucradas.

Fiabilidad: se utilizan los medios técnicos y científicos adecuados para el análisis de las muestras, incluyendo los informes o resultados periciales finales derivados de dichos análisis.

Verosimilitud de las evidencias: se busca que las muestras y los resultados de sus análisis sean confiables y creíbles, con el propósito de que sirvan como pruebas incriminatorias o exculporias en el proceso penal.

Vigilancia o custodia: cuando las evidencias se encuentran bajo la posesión u observación de una persona física competente o se guardan en un lugar seguro y accesible solo para personas autorizadas para manipularlas.

En lo que respecta a la legislación de este proceso, la Ley de Enjuiciamiento Criminal (LECRIM) ha sufrido múltiples modificaciones, lo que ha generado imprecisión y deficiencias en el sistema. Como resultado, las competencias del juez y la Policía Judicial se entremezclan de una manera difícil de comprender y aún más difícil de gestionar en el día a día de la investigación criminal (López Valera, 2018).

La legislación procesal española solo hace referencias indirectas a la cadena de custodia, dando por sentada su existencia y finalidad, pero sin especificar sus características esenciales, requisitos y, lo que es más importante, el impacto que podrían tener en el proceso aquellos casos en los que se demuestre que los vestigios del delito no han sido protegidos adecuadamente, corriendo el riesgo de deterioro, desaparición o alteración (López Valera, 2018).

Algunos autores como Del Pozo (2012) realizan un análisis crítico sobre la cadena de custodia basándose en la jurisprudencia debido a la falta de regulación precisa en la LECRIM, excepto por algunas referencias leves, lo que genera inseguridad jurídica. Además, proponen un proceso de elaboración propio basado en las normas de procedimiento y en los protocolos del Cuerpo Nacional de Policía relacionados con la recogida de vestigios y la cadena de custodia.

3.2 RECOGIDA DE MUESTRAS

Al igual que en el resto de los delitos, en las agresiones sexuales nos encontramos con 3 factores relevantes a analizar a la hora de investigar la ocurrencia de un crimen sexual: la víctima, el sospechoso y el escenario donde se cometió la agresión. En este sentido, procederemos a realizar un análisis detallado de las características que revisten la recogida de muestras en cada uno de los ámbitos mencionados.

Antes de comenzar con el análisis, consideramos oportuno aclarar que, en España, las personas encargadas de la recogida de muestras son los Médicos Forenses y la Policía Judicial, sin perjuicio de que el Juez Instructor pueda solicitar la colaboración de otros expertos cualificados, con arreglo a lo previsto en la Ley de Enjuiciamiento Criminal (Aler Gay et al., 2015). Asimismo, El personal encargado de realizar la toma de muestras debe contar con la formación, conocimientos técnicos y experiencia adecuada para llevar

a cabo estas tareas de manera efectiva. Por lo tanto, se recomienda desarrollar programas de formación y entrenamiento en esta área, los cuales deberían actualizarse constantemente para adaptarse a los avances técnicos que se vayan produciendo (Aler Gay et al., 2015).

Por otro lado, es preciso aclarar que con la nueva ley del “solo sí es sí”, es decir la Ley Orgánica 10/2022, del 6 de septiembre, de garantía integral de la libertad sexual, se contemplan cambios en cuanto a la recogida de muestras. Esta ley en su artículo 46, contempla la posibilidad de que sea el ginecólogo quien realice la primera exploración física de la víctima de urgencia, e incluso que recoja él mismo las muestras pertinentes en ese momento, y no el médico forense, como se había hecho hasta ahora.

3.2.1 Los principales indicios biológicos en crímenes sexuales

Los principales indicios biológicos de interés criminal según Fernández (2020) son: (i) El semen procedente de la eyaculación. (ii) La saliva, procedente de mordeduras, sugilaciones o sexo oral. (iii) La sangre, cuando se producen heridas y sangrado. (iv) Las células epiteliales, de distintas localizaciones corporales, dejadas por un individuo principalmente en el cuerpo del otro o incluso en ropas del otro. (v) Los pelos, que aparecen en el cuerpo del otro individuo o en las ropas de éste.

De aquí podemos deducir dónde se pueden buscar (Fernández, 2020): (i) En el cuerpo de la víctima y/o sospechoso. (ii) Ropas (de la víctima, del lugar de los hechos, como sábanas). (iii) Objetos recogidos del lugar de los hechos (preservativos, objetos utilizados para la penetración).

Los hisopos extra-genitales pueden emplearse para la investigación de saliva si ha habido sexo oral o si se tiene constancia de mordeduras o sugilaciones, y también para la investigación de semen, si se ha eyaculado en la superficie corporal. Los hisopos bucales se utilizan para la investigación de restos de semen si se ha producido una felación (Fernández, 2020; Magalhaes et al., 2015).

El análisis genético de las uñas (de víctima y sospechoso) persigue la detección de células epiteliales del otro individuo que hayan podido quedar adheridas a éstas en un mecanismo lucha/defensa – importante si se detectan arañazos - o durante el acto sexual (Fernández, 2020; Magalhaes et al., 2015).

En ocasiones, y según el relato de la víctima, también tiene interés el análisis de objetos empleados en la penetración; desde la experiencia del Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses (INTCF), estos objetos pueden ser variados, desde frutas, como naranja a una barra metálica, en los que se pueden detectar restos de ADN de la víctima, procedentes de células vaginales (Fernández, 2020).

En cuanto al análisis de los preservativos, éste deberá realizarse en ambas superficies: la externa para detectar restos de ADN de la víctima, e interna, para buscar restos de semen del autor de los hechos. Esto, que parece tan obvio, no siempre lo es, pues en algunos laboratorios no se procede a la investigación de la superficie externa del preservativo, lo que trae consigo la no identificación de la víctima, lo que podría motivar que esta no se asociara al uso de dicho preservativo y no se pudiera inculpara al agresor (Fernández, 2020).

3.2.2 Tiempo de permanencia de espermatozoides y otros fluidos biológicos

En los protocolos de respuesta ante agresiones y abusos sexuales, una vez que se inicia el procedimiento judicial, es necesario solicitar la presencia del médico forense para realizar la toma de muestras a la víctima (Fernández, 2020). Tradicionalmente, se creía que el plazo máximo para realizar esta toma de muestras en el cuerpo de la víctima era de 48 horas después de los hechos. Pasado este tiempo, no se convocaba al médico forense asumiendo incorrectamente que no existían posibilidades de obtener fluidos biológicos del cuerpo de la víctima que pudieran tener valor probatorio (Fernández, 2020). Sin embargo, de acuerdo con la literatura consultada y la propia experiencia del INTCF, parece razonable ampliar este período de tiempo. Así, según los datos incluidos en la siguiente Tabla 3, extraídos del protocolo VISEM (Protocolo de Asistencia Sanitaria Urgente y Coordinada a Mujeres Víctimas de Violencia Sexual en la Comunidad de Madrid, 2022) la permanencia de espermatozoides funcionaría de la siguiente manera:

Tabla 3:

Permanencia de espermatozoides en vagina, ano/recto y boca

ZONA CORPORAL	VIVOS	FALLECIDOS
Vagina	7-10 días	7 días
Ano/recto	2-3 días	2 días
Boca	24 horas	Sin datos

Nota: Adaptado de: “Protocolo de asistencia sanitaria urgente y coordinada a mujeres víctimas de violencia sexual en la Comunidad de Madrid” (*Código VISEM*). Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid, 2022.

De esta manera podemos deducir lo siguiente (Fernández, 2020):

En casos de agresión sexual con penetración vaginal confirmada o presunta, es posible que el semen y los restos celulares masculinos permanezcan en la cavidad vaginal hasta 7 días después del incidente. Por lo tanto, según la información presentada en la Tabla 3, es necesario extender el período de recolección de muestras en estos casos hasta 168 horas después.

En casos de agresión sexual que involucran penetración anal, oral, digital, derramamiento de semen o fluidos corporales en la superficie del cuerpo, o cuando hay restos de saliva en mordeduras o chupetones, es posible detectar semen y/o restos celulares masculinos hasta 3 días después del suceso. Por lo tanto, se considera apropiado recolectar muestras en un período de hasta 72 horas después del acto lesivo.

Estos datos, incluidos en el protocolo mencionado, pueden cambiar la práctica previa en ciertos contextos donde solo se recogían muestras en las primeras 48 horas. Esto mejora la recolección de pruebas biológicas. Además, la difusión y el conocimiento de estos datos pueden contribuir a la estandarización de la exploración y recolección de muestras forenses y clínicas.

En cuanto a las manchas de fluidos biológicos en la ropa, estas pueden conservarse adecuadamente durante varios años en un ambiente seco y fresco.

3.2.3 Recogida de muestras en el lugar de los hechos

Le corresponde a la Policía Judicial según el Real Decreto 769/1987, de 19 de junio, la averiguación de los delitos y el aseguramiento de los delincuentes (artículo 1). Para cumplir con este cometido desempeñarán funciones de investigación criminal especializada propios de una Policía Científica, practicando, entre otras funciones, inspecciones oculares y recogida de pruebas (artículo 28). De modo que, podemos intuir que la recogida de muestras en la escena del crimen corresponde a la labor policial.

A continuación, se mostrará en las Tablas 4.a y 4.b los distintos procedimientos de recolección y almacenamiento en la escena del delito, según la muestra recogida

(Grupo de Habla Española y Portuguesa de la International Society for Forensic Genetics [GHEP-ISFG], 2001):

Tabla 4.a:

Procedimientos de recogida y almacenamiento según el tipo de muestra.

Tipo de Muestra	Procedimiento de Recolección	Almacenamiento
Manchas Secas en Muestras Pequeñas	Colillas: Recoger con pinzas limpias y guardar en bolsas de papel o cajas de cartón pequeñas.	Bolsas de papel o cajas de cartón pequeñas.
	Chicles: Recoger con pinzas limpias y guardar en envases de plástico duro.	Envases de plástico duro.
	Sobres y sellos: Recoger con pinzas limpias sin despegar y guardar en bolsas de papel o plástico.	Bolsas de papel o plástico.
	Armas blancas: Recoger con cuidado, colocar en cajas de cartón o bolsas de papel.	Cajas de cartón o bolsas de papel.
	Llaves, monedas, joyas, etc.: Recoger con pinzas limpias y guardar en bolsas de papel.	Bolsas de papel.
	Piedras, ramas, hojas, etc.: Recoger y guardar en bolsas de papel.	
	Billetes, papeles, cartones pequeños, etc.: Recoger y guardar en bolsas de papel.	
Manchas Secas en Muestras Grandes	Soportes no absorbentes (cristales, metales, etc.): Frotar con hisopo estéril ligeramente mojado con agua destilada o raspar con bisturí y guardar en bolsa de papel.	

Tabla 4.b:*Procedimientos de recogida y almacenamiento según el tipo de muestra.*

Tipo de muestra	Procedimiento de recolección	Almacenamiento
Manchas Secas en Muestras Grandes	Soportes absorbentes (telas, tapicerías, alfombras, etc): Recortar la mancha con bisturí o tijeras y guardar en bolsa de papel.	Bolsas de papel.
Indicios Húmedos	Ropas u otros objetos con indicios húmedos: Introducir en bolsas de plástico para su transporte y dejar secar en un lugar protegido.	Bolsas de plástico para transporte y bolsas de papel seco.
Indicios Líquidos (Sangre)	Sangre en gran cantidad: Recoger con pipeta de plástico desechable y guardar en tubo con anticoagulante (EDTA).	Tubo con anticoagulante (EDTA).
	Sangre en escasa cantidad: Recoger con hisopo estéril.	Hisopo estéril.
	Sangre coagulada: Recoger con cucharilla de plástico y guardar en tubo o frasco de plástico.	Tubo o frasco de plástico.
Indicios Líquidos (Semen)	Preservativos con semen líquido: Recoger, atar bien y guardar en frasco de plástico.	Frasco de plástico.
	Semen en escasa cantidad: Recoger con hisopo estéril.	Hisopo estéril

Nota: Ambas tablas, 4.a y 4.b, adaptado de “Guía para implementar un sistema de calidad de los laboratorios en Genética Forense”. GHEP-ISFG, 2001 (<https://ghep-isfg.org/es/publications/guides-and-recommendations/>)

Con el objetivo de cumplir con los deberes asignados por ley a la Policía Judicial y ante la falta de procedimientos específicos para las funciones asignadas, la Guardia Civil ha desarrollado un Manual de Policía Judicial que se encuentra en constante actualización (López Valera, 2016). Este manual establece un mecanismo para la

localización, hallazgo y recogida de evidencias en la escena del crimen, asegurando en todo momento la integridad de la cadena de custodia de las muestras. El primer documento en la cadena de custodia es el Acta de Inspección Ocular, que detalla la identificación de las personas involucradas, la cronología de los acontecimientos, la descripción del escenario, la ubicación de las pruebas encontradas, información relevante sobre personas u objetos presentes en la escena, fotografías y croquis. Las muestras se envían de manera documentada utilizando *la Hoja de Toma de Vestigios/Muestras y Acuse de Recibo* (Figueroa Navarro, et al., 2015).

El Acta de Inspección Ocular marca el inicio de la cadena de custodia de las muestras, registrando la fecha, el número de identificación personal y la firma de todas las personas relacionadas con la toma de muestras. Se deben tomar las siguientes precauciones (Figueroa Navarro, et al., 2015):

- (i) Antes de recoger las muestras, se deben tomar fotografías o filmar, considerando que una sola muestra puede contener múltiples vestigios, como huellas dactilares, restos biológicos, fibras, residuos de disparo, etc.
- (ii) Cada tipo de muestra recibirá una identificación única y una breve descripción que se anotará en el apartado correspondiente.
- (iii) Se utilizará el material, equipo o reactivo más adecuado para la recogida, dependiendo de la naturaleza de la muestra. En el caso de muestras biológicas (ADN), el material debe estar completamente limpio y estéril.
- (iv) Para evitar la contaminación cruzada, cada muestra se colocará en un contenedor individual apropiado para su naturaleza y tamaño, con un cierre hermético, que será precintado y debidamente identificado. En el caso de muestras biológicas, se empleará refrigeración y/o congelación, así como la adición de conservantes, si es necesario. El personal encargado de recoger las muestras debe utilizar la indumentaria adecuada (guantes, mascarilla, bata, etc.) para evitar la contaminación externa de las muestras y minimizar los posibles riesgos para la salud. Si es posible, el responsable de tomar muestras dudosas será diferente del que recoja las muestras indudables.

Con respecto al análisis de las muestras recogidas en la escena de los hechos, cabe resaltar que los diferentes cuerpos y fuerzas de seguridad del estado cuentan con sus

propios laboratorios de criminalística, desde los cuales, las unidades de policía científica se encargan del tratamiento de los indicios (Guardia Civil, s.f.; Policía Nacional, s.f).

3.2.4 Recogida de muestras sobre el cuerpo de la víctima

Con el objetivo de brindar a la víctima los cuidados pertinentes, evitar repeticiones de exámenes innecesarios y realizar la toma de muestras lo antes posible en un entorno óptimo, la atención a las víctimas de violencia sexual se llevará a cabo preferentemente en los servicios hospitalarios y en coordinación con los médicos de guardia especializados (ginecólogos y/o pediatras) (Ministerio de Justicia, 2021). Sin embargo, en algunos casos excepcionales, también se pueden realizar en las instalaciones de los Servicios de Clínica Médico Forense en los Institutos de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Para esto, los centros de referencia deben disponer de espacios adecuados donde establecer un primer contacto con la víctima de manera privada y confidencial. El lugar donde se brinde la atención debe cumplir con los requisitos de accesibilidad, equipamiento, seguridad, higiene y privacidad necesarios en este tipo de exámenes (Ministerio de Justicia, 2021).

Con respecto al consentimiento informado, toda víctima tiene el derecho de dar su consentimiento o rechazar cualquier parte de un examen médico-forense relacionado con violencia sexual, y debe ser informada de esto antes de que comience, de acuerdo con la Ley 41/2002, de 14 de noviembre, que regula la autonomía del paciente y los derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica en cualquier intervención médica.

Obtener el consentimiento para el examen y la divulgación de información a terceros a través del informe pericial es una parte fundamental del proceso; violar este requisito puede resultar en la anulación de la prueba e incluso en acciones legales contra el médico por violar la privacidad de la víctima sin su previa aprobación (Ministerio de Justicia, 2021). Este consentimiento, como expresión práctica de la autonomía, debe ir precedido de una explicación detallada y delicada de todas las partes del examen pericial, brindando la oportunidad de revocar el consentimiento para cada etapa e incluso para aspectos específicos dentro de cada una de ellas (Ministerio de Justicia, 2021). Si en algún momento la persona afectada decide no continuar o se niega a una práctica en particular, su solicitud debe ser respetada. Así, es importante que este consentimiento se obtenga por escrito, ya que además de quedar registrado en el informe pericial, puede archivarse en el expediente médico-legal. De la misma manera, si no se acepta el examen total o parcialmente, esto debe ser registrado (Ministerio de Justicia, 2021).

Por otra parte, una de las fases fundamentales en la valoración pericial en estos casos es la entrevista forense, ya que de ahí se va a esclarecer todo tipo de información que oriente tanto la exploración como la recogida de muestras (Ministerio de Justicia, 2021). De esta manera, y de acuerdo con el consentimiento informado de víctima, será el médico forense el que, bajo su criterio profesional, decidirá en cada caso, las muestras que se deben recoger dependiendo de: el relato de los hechos, el tiempo transcurrido desde la agresión y los hallazgos en la exploración física inicial (JUS/1291/2010).

Es importante seguir un orden específico en la recogida de las muestras para evitar contaminaciones de una zona a otra. Por lo tanto, la toma de muestras de los genitales externos se realizará antes de la exploración digital o con espéculo. Las muestras se recogerán en orden, desde la zona más externa hacia el interior, es decir, región anal y rectal, seguidas de la vulva, vagina y cuello uterino (Ministerio de Justicia, 2021).

Recopilación de muestras dubitadas (Fernández de Simón & Alonso, 2014; Ministerio de Justicia, 2021):

- Toma bucal para buscar semen: Se utilizarán dos hisopos estériles que se pasarán con cuidado, sin frotar en exceso, por debajo de la lengua, alrededor de las encías, los dientes y el paladar. Estos hisopos se colocarán en cajas de cartón específicas o tubos designados para ellos. Es importante realizar esta toma en primer lugar, ya que los restos de semen desaparecen rápidamente en la boca. Posteriormente, se realizará un enjuague bucal vigoroso con suero fisiológico, que se depositará en un tubo o frasco estéril para su análisis.
- Superficie corporal: Se deben buscar manchas de saliva, sangre o semen, así como mordeduras, marcas de succión u otros elementos similares. Estos vestigios se recolectarán con hisopos estériles, siguiendo las indicaciones del artículo 34, puntos 1 y 2 de la Orden JUS/1291/2010. Se tomarán duplicados de hisopos de cada zona; en caso de requerirse un hisopo húmedo, se utilizará uno seco en la misma área posteriormente para obtener el residuo restante. En caso necesario, el hisopo se humedecerá con una o dos gotas de agua destilada o suero fisiológico para evitar la saturación y dilución de la muestra.
- Toma anal y del margen anal: Se obtendrán con dos hisopos estériles humedecidos para limpiar el margen anal y otros dos hisopos humedecidos para el conducto anorrectal. No se enviarán heces.

- Peinado del vello púbico y recolección de pelos dudosos: Se realizará un peinado suave para no arrancar pelos de la víctima, sobre un papel blanco. Tanto el peine como el papel utilizado se enviarán.
- Toma vaginal, cervical y de genitales externos: Se obtendrán con dos hisopos estériles humedecidos para la región vulvar, dos hisopos secos para limpiar la cavidad vaginal y dos hisopos secos para el cuello uterino. La toma de los hisopos se realizará desde la zona externa hacia la interna, comenzando por la vulva, luego la cavidad vaginal y por último el cuello uterino, con el fin de no arrastrar posibles restos hacia el interior o que queden adheridos al eje del hisopo en lugar del absorbente. Esta toma se realizará antes del lavado vaginal. Los hisopos se colocarán en cajas de cartón o tubos específicos para ellos.
- Lavado vaginal: Se llevará a cabo después de la toma con hisopos, utilizando aproximadamente 10 ml de suero fisiológico estéril, que se recogerá en un tubo o frasco de plástico.
- Uñas (recortes o hisopos): Se cortará el borde superior de las uñas. Se enviarán dos sobres pequeños, uno con las uñas de la mano derecha y otro con las de la mano izquierda. Si no se pueden recortar, se limpiarán con hisopos estériles.
- Ropa de la víctima en el momento de la agresión: Cada prenda se envolverá por separado en papel y se introducirá en bolsas de papel individuales. Se recomienda recoger y enviar la ropa interior (bragas y sujetador) y las prendas de vestir que se consideren relevantes (por ejemplo, en caso de posible eyaculación externa).

Muestras indubitadas (Fernández de Simón & Alonso, 2014; Ministerio de Justicia 2021; Aler Gar et al., 2015):

- Hisopos bucales: Se obtendrán frotando suavemente la zona interna de las mejillas con dos hisopos bucales. Es recomendable realizar un enjuague bucal previo a la toma, especialmente si la víctima ha comido recientemente. En caso de sospecha de penetración oral, se utilizará como muestra indubitada la de sangre venosa.
- Sangre venosa: se recogerán aproximadamente 2-5 ml en un tubo con anticoagulante tipo EDTA. Si se requiere sangre para otros análisis (serológicos, toxicológicos, etc.), se tomarán muestras adicionales.

Otras muestras de interés forense serían las muestras del presunto agresor, de las que hablaremos más adelante. En este caso, se requerirá el consentimiento informado para

incluir su perfil genético en las bases de ADN a lo que también haremos referencia más adelante.

Asimismo, la preocupación por contraer una infección de transmisión sexual (ITS), también conocida como ETS, a partir del agresor es común entre las víctimas de violencia sexual. Por esta razón, el estudio de las ITS debe abordarse tanto a nivel médico como forense de manera conjunta (Office on Violence Against Women, 2013)

Aunque es posible que la víctima haya adquirido una ITS antes de la agresión, existen situaciones en las que estos análisis son relevantes desde un punto de vista médico-legal (Ministerio de Justicia, 2021). Por ejemplo, esto puede ocurrir cuando la amenaza o la transmisión real de una ITS se consideran elementos del delito. Además, en niños y adultos no sexualmente activos, un resultado inicial negativo para ITS en el momento de los hechos seguido de la aparición de una ITS posteriormente puede utilizarse como evidencia si el sospechoso también la presenta. En todos los casos, se debe garantizar la confidencialidad con respecto a la historia de ITS de la víctima (Ministerio de Justicia, 2021).

Una vez realizada la recogida de muestras sobre la víctima, se debe dejar constancia de todo el procedimiento mediante un formulario estandarizado que será incorporado a la documentación de cadena de custodia. Este formulario de muestras recogidas que deberá incluir:

(i) Información de la persona agredida: Edad, género asignado al nacer o registrado, actividad sexual previa o posterior a los hechos, si se ha realizado una higiene personal después de la agresión, entre otros datos relevantes.

(ii) Detalles de la agresión: Lugar, fecha y hora de la agresión, tipo de agresión, cantidad de agresores involucrados, relación con los agresores, antecedentes de consumo de sustancias, y otros detalles pertinentes.

(iii) Fecha y hora de recolección de las muestras.

(iv) Descripción exhaustiva de las muestras recopiladas y los análisis solicitados para cada una de ellas, incluyendo la documentación de la cadena de custodia.

(v) Identificación del profesional responsable de la recolección o supervisión de las muestras.

3.2.5 Muestras indubitadas del cuerpo del agresor

Las muestras recogidas del cuerpo del agresor serán similares a las muestras indubitadas recogidas en el cuerpo de la víctima a las que hemos hecho referencia anteriormente.

En primer lugar, las células epiteliales de la mucosa bucal (saliva). Se pueden obtener frotando hisopos estériles en el interior de las mejillas. Se recomienda recolectar al menos dos hisopos (Fernández de Simón & Alonso, 2014). Actualmente, hay diversos tipos de hisopos y kits estandarizados disponibles para este procedimiento. Es recomendable que la recolección de muestras se realice al menos una hora después de comer, para evitar la presencia de residuos de alimentos. También se puede optar por enjuagarse la boca antes de tomar la muestra (Fernández de Simón & Alonso, 2014).

En segundo lugar, la sangre, la cual se puede obtener mediante dos vías: (i) punción dactilar, con una aguja o lanceta quirúrgica se pincha la cara anterior de un dedo de la mano y se depositan de 3 a 4 gotas de sangre sobre los soportes especiales para la recogida y conservación de ADN (Fernández de Simón & Alonso, 2014; Ministerio de Justicia, 2021). (ii) Y, punción venosa, se recogerán aproximadamente 2-5 ml en un tubo con anticoagulante tipo EDTA. Si se requiere sangre para otros análisis (serológicos, toxicológicos, etc.), se tomarán muestras adicionales (Fernández de Simón & Alonso, 2014).

Y, en tercer lugar, los pelos con raíz, aunque se trate de la muestra indubitada menos frecuente. La principal función de este tipo de muestra radica en los casos donde se requiere una comparación morfológica entre cabellos cuestionados (dubitados) y cabellos de referencia (indubitados). Se sugiere enviar de 10 a 15 cabellos que hayan sido arrancados con su raíz intacta (Fernández de Simón & Alonso, 2014).

En casos criminales, obtener muestras de referencia de los detenidos o imputados implica cierta complejidad legal, y es necesario solicitar su consentimiento y brindarles información sobre el uso que se dará a dichas muestras (Comisión Nacional para el Uso Forense del ADN [CNUFADN], 2023). Sin embargo, tal y como se ha aclarado anteriormente, en casos de delitos graves como una agresión sexual, se puede recurrir a la coacción para obtener muestras indubitadas del sospechoso. Aún así, cuando el supuesto agresor de un delito sexual dé su consentimiento, deberá rellenarse el formulario pertinente.

De acuerdo con las recomendaciones de la CNUFADN (2023), el formulario de consentimiento informado en estos casos debe incluir al menos los siguientes aspectos:

- La naturaleza de los perfiles de ADN.
- El uso y la divulgación de los perfiles de ADN.
- Los laboratorios autorizados para realizar los análisis.
- La conservación de las muestras y datos personales.
- Los derechos de cancelación, rectificación y acceso a los datos.

Además, se establece la obligación de contar con asistencia legal durante la toma de muestras de ADN, siguiendo los criterios establecidos en la sentencia del Tribunal Supremo 827/2011. Dicha sentencia, insiste en la exigencia de asistencia letrada para la obtención de muestras de saliva u otros fluidos del imputado detenido, cuando estos sean necesarios para la definición de su perfil genético. Justificándolo como una medida esencial para obedecer al derecho constitucional a la defensa y ofrecer un proceso con todas las garantías.

3.2.6 Cadena de custodia y medidas de preservación de la muestra desde que se recoge hasta que se traslada al laboratorio

En lo que respecta a la documentación que garantiza que la recogida de muestras se ha llevado a cabo correctamente, deberá incluir lo siguiente (Fernández de Simón & Alonso, 2014):

- Formularios estandarizados. Se deben utilizar formularios estandarizados que incluyan información relevante, como la investigación solicitada, antecedentes y datos del caso, y datos de la persona a la que se le realiza la toma de muestra, así como su relación con el caso.
- Documentación complementaria. Se deben adjuntar informes adicionales, como informes clínicos o fotografías de las muestras, si son relevantes.
- Documento de cadena de custodia. Los formularios deben contener un apartado dedicado a la cadena de custodia, que incluya la identificación y firma de las personas responsables de la recolección, fecha y hora aproximada, entre otros.

El etiquetado, embalaje y almacenamiento adecuado de las pruebas son fundamentales para garantizar su integridad y evitar posibles pérdidas, daños o contaminaciones. A continuación, se presentan algunas pautas importantes a tener en

cuenta. Cada muestra debe ser envasada individualmente y los envases deben estar adecuadamente identificados y precintarlos (Magalhaes et al., 2015; Ministerio de Justicia, 2021). Así, en el envase se debe indicar el tipo de muestra (dubitada o indubitada), el sujeto de procedencia y el número de procedimiento. Para garantizar la cadena de custodia, todos los envases deben estar sellados y etiquetados con la fecha y hora de la toma de muestra. Además, como ya hemos comentado, es imprescindible que las personas que manipulen las muestras firmen un informe de cadena de custodia para mantener un seguimiento adecuado de la documentación relacionada con las pruebas (Magalhaes et al., 2015; Ministerio de Justicia, 2021).

Asimismo, son necesarias unas pautas de calidad forense para la recogida y envío de muestras al laboratorio. Estas pautas tienen como objetivo tomar precauciones para proteger tanto al personal encargado de la recolección como a las propias muestras, evitando que el proceso se realice sin garantías suficientes. En lo que respecta al uso de medidas higiénico-sanitarias para la protección del personal se recomiendan las siguientes pautas (Aler Gay et al., 2000; López Valera, 2016):

- El uso obligatorio de guantes desechables y evitar tocarse los ojos, la nariz o la piel con las manos enguantadas. Así como, la utilización de todo tipo de material desechable que garantice la protección individual (batas, mascarilla u otra ropa protectora) y evitar el contacto directo con las muestras.
- Utilizar una buena técnica y un buen material.
- Lavarse las manos con agua y jabón después del trabajo (incluso si se usaron guantes) y sellar adecuadamente los recipientes de muestras.
- Lavar concienzudamente cualquier herida causada por pinchazos o cortes y comunicar cualquier incidente al responsable de seguridad biológica y al servicio médico.
- Transportar siempre las muestras en recipientes herméticos y dentro de un contenedor etiquetado como peligro de infección o contaminante biológico.

Estas medidas higiénico-sanitarias no solo son útiles para prevenir contagios al personal, sino que también son importantes para prevenir la contaminación de las muestras biológicas. De esta manera, se evita que las muestras se contaminen con otras sustancias que podrían adulterar o perjudicar su posterior análisis en el laboratorio forense, afectando así la cadena de custodia.

Por otra parte, también se han identificado ciertos peligros que pueden perjudicar la cadena de custodia y afectar el análisis del perfil genético. Estos peligros incluyen evitar la contaminación de la muestra por material biológico humano posterior a la producción del delito, el traslado de los indicios que puede dar lugar a contaminación o pérdida de una prueba, la reducción de la contaminación microbiológica causada por la humedad y las altas temperaturas, y evitar la contaminación química que dificulta los procesos de análisis genético. Estos procesos descritos pueden evitarse o minimizarse si se siguen algunas precauciones básicas, como (Magalhaes et al., 2015; López Valera, 2016; Aler Gay et al., 2000; Ministerio de Justicia, 2021; Fernández de Simón & Alonso, 2014):

- El uso de guantes limpios que deben cambiarse con frecuencia.
- Evitar hablar o estornudar sobre las muestras utilizando mascarillas, usar ropa protectora como batas, utilizar instrumental desechable o limpiarlo adecuadamente antes de recoger cada indicio biológico.
- No añadir conservantes a las muestras
- Dejar que las muestras se sequen a temperatura ambiente en un lugar protegido antes de ser envasadas, a menos que se utilicen dispositivos de recolección con sistemas de autosecado.
- Empaquetar las muestras en envases de papel o cajas de cartón, evitando el uso de plástico a menos que este último cuente con un sistema de autosecado. Si no se dispone de este sistema, se debe transferir rápidamente la muestra al envase adecuado tomando las medidas de protección necesarias.
- Los indicios líquidos o húmedos son especialmente susceptibles a la degradación del ADN, que puede ocurrir en pocas horas. Por lo tanto, es necesario empaquetar cada muestra de manera adecuada. Los indicios líquidos (como lavados, sangre u orina) deben mantenerse y remitirse refrigerados.
- En casos en los que las autoridades policiales aporten al Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses (IMLCF) prendas u otros objetos pertenecientes a la víctima, estos elementos se recibirán y registrarán previamente a su análisis o envío al laboratorio forense en las mismas condiciones mencionadas anteriormente.
- Una vez terminada la recogida de muestras, tirar todo el material desechable utilizado (guantes, pipetas, papeles....) en bolsas de basura o contenedores para

residuos biológicos, para eliminarlo posteriormente según las normas de destrucción de residuos biológicos.

Estas recomendaciones prácticas para el tratamiento de las muestras biológicas, con el fin de evitar su contaminación, así como la protección del personal encargado de su extracción en la escena del crimen, deben complementarse o mejorarse con las instrucciones mencionadas anteriormente para el procedimiento de cadena de custodia de las muestras.

Una vez se han cumplimentado todos los protocolos y procedimientos para recoger las muestras, estas son mandadas al laboratorio para analizar. En aras de garantizar la cadena de custodia, se siguen las siguientes normas de recepción de muestras por parte del laboratorio (Aler Gay et al., 2000):

- Al recibir las muestras, se debe completar una hoja de custodia que incluya: (i) El nombre de la persona que entrega las muestras, (ii) el nombre de la persona que recibe las muestras, (iii) la fecha y hora de la entrega; (iv) el nombre de la empresa que realiza el transporte (si corresponde).
- Se debe verificar el número de referencia de cada muestra y compararlo con el formulario enviado por el Médico Forense o la Policía Judicial. Cualquier discrepancia debe ser registrada.
- Se debe verificar que todas las muestras estén correctamente empaquetadas y que los precintos estén intactos.
- Al abrir los recipientes, bolsas u otros envases que contienen las muestras, se debe verificar que la identificación y descripción sean correctas. Cualquier discrepancia debe ser anotada.
- Se debe tomar fotografías de las muestras y registrar su estado de conservación.
- Cada centro puede establecer sus propias medidas correctivas en caso de detectar defectos en el empaquetado o errores en la identificación de las muestras.

3.3 ANÁLISIS DE ADN

Antes de comenzar, es importante aclarar que en este apartado se han incorporado una serie de fotografías tomadas durante la visita al laboratorio de BIOMICS (que se describirá más adelante). Aunque se obtuvieron como parte de los recursos empíricos, estas imágenes se incluyen en el marco teórico para brindar apoyo visual a las diversas herramientas y metodologías mencionadas en esta sección.

En cuanto la realización de análisis de ADN, el laboratorio de referencia para la Administración de Justicia será el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses al que se ha hecho referencia anteriormente (Ministerio de justicia, sf). De modo que, gran parte de los análisis de muestras recogidas desde los institutos de Medicina Legal acaban derivando al INTCF y en el caso que nos ocupa, a su departamento de Criminalística en Madrid. De esta manera, aunque en el territorio español podemos encontrar otros laboratorios acreditados para llevar a cabo tareas subsidiarias para la Administración de Justicia, la mayor carga de trabajo en casos de crímenes se concentra en el propio INTCF (Ministerio de Justicia, s.f.).

Antes de llevar a cabo un análisis de ADN con el objetivo de identificar las evidencias, existen pasos preliminares en la prueba que nos permiten determinar el tipo de resto biológico presente. Por ejemplo, en los casos en los que llegan tejidos, ropajes o piezas para analizar en el laboratorio, es necesario encontrar el origen de los restos biológicos que contienen, porque de lo que se encuentre dependerá la delimitación del hecho delictivo. En otras palabras, encontrar una mancha de sangre (que puede implicar un enfrentamiento) no es lo mismo que encontrar un filtro de cigarrillo, que simplemente puede indicar la presencia de un individuo en la escena del crimen, pero no necesariamente su participación en él (Prieto, 2004). Procedemos a comentar algunos de los análisis preliminares más útiles en los casos de delincuencia sexual.

La hemoglobina es uno de los componentes exclusivos de la sangre, lo que significa que su detección mediante diversos métodos, como la inmunocromatografía, confirma la presencia de sangre en la muestra (Figura 1). Además, las técnicas inmunológicas permiten refinar el análisis para confirmar la especie de sangre, es decir, si es de origen humano u otro.

Cuando se obtienen resultados positivos en pruebas confirmatorias como las mencionadas, se registra en el informe lo siguiente (Pifarré, 2021 p. 11): *“Se han identificado restos de sangre humana en las muestras analizadas.”*

Por otro lado, un resultado negativo (sin presencia de una banda visible en la posición T de la prueba) se informará de la siguiente manera (Pifarré, 2021 p. 11): *“No se han detectado restos de sangre humana en las muestras analizadas”*.

Finalmente, si se obtiene un resultado inconcluyente, es decir, si se visualiza una banda extremadamente tenue en la posición T, se concluye en el informe lo siguiente

(Pifarré, 2021 p. 11): “No se ha podido confirmar la presencia de restos de sangre humana en las muestras analizadas.”

Figura 1:

Resultado negativo y positivo de una prueba de detección de hemoglobina por inmunocromatografía.



Nota: elaboración propia a partir de visita al laboratorio BIOMICs

De igual forma se interpretarán los resultados de los test de alfa amilasa (saliva) y de antígeno prostático (PSA) a los cuales se hará referencia más adelante.

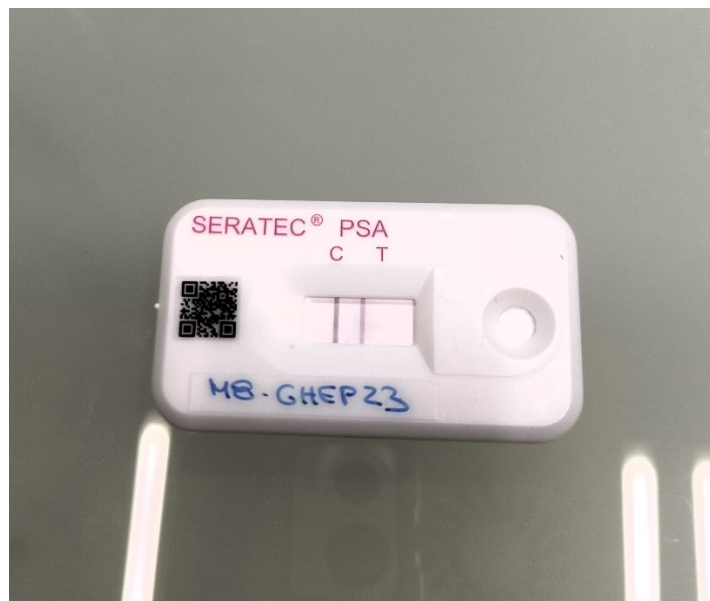
Observación de espermatozoides bajo microscopio óptico (con el uso de tinciones) o mediante microscopia de contraste de fases: se considera para el diagnóstico de contacto sexual y, además, la observación de espermatozoides móviles permite calcular de manera aproximada el momento de la agresión. No obstante, como estas técnicas no conducen a la identificación del agresor y se produce la pérdida de material biológico para realizar el frotis, algunos autores no recomiendan este procedimiento (Khaldi et al., 2004).

El antígeno prostático específico (PSA) (Figura 2) es una enzima proteasa de tipo serina producida por las células epiteliales de la próstata, presente en diversos tejidos como el líquido seminal, el líquido prostático, el suero masculino, la orina masculina, las glándulas sudoríparas apocrinas y la leche materna de mujeres lactantes (Khaldi et al.,

2004; Magalhaes et al., 2015). Aunque el PSA no es específico del tejido ni del sexo, en los casos de análisis de muestras sexuales, la interpretación de los resultados no suele ser problemática debido a sus bajas concentraciones en fluidos no prostáticos. Se considera que el PSA es uno de los métodos más sensibles para la detección de semen y puede aplicarse a individuos con azoospermia (ausencia de espermatozoides en el semen) (Khaldi et al., 2004; Magalhaes et al., 2015)..

Figura 2:

Resultado positivo de un análisis de PSA



Nota: elaboración propia a partir de la visita del laboratorio BIOMICS.

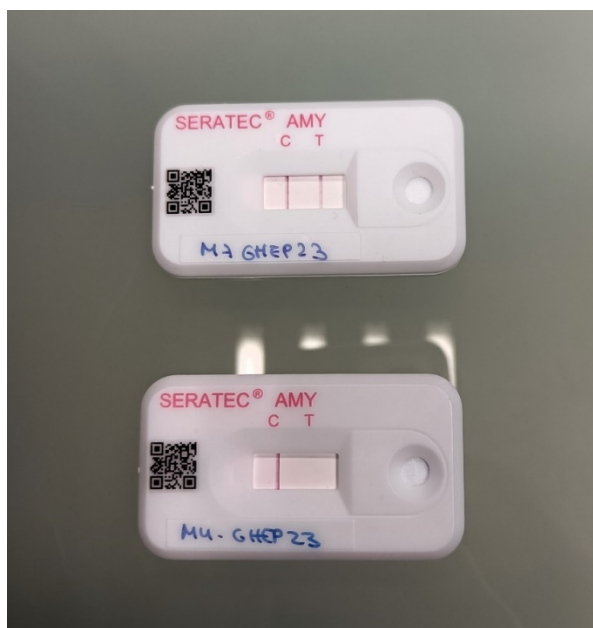
Por otra parte, a la hora de detectar la presencia de saliva en todo tipo de manchas de origen biológico, aunque se encuentre de manera entremezclada con otros fluidos, se puede individualizar la aparición de saliva mediante la detección específica de alfa-amilasa de origen humano (Laboratorio de Genética Clínica S.L). La enzima α -amilasa se encuentra en grandes cantidades en la saliva, lo que la convierte en un factor determinante en la detección de agresiones sexuales en algunas muestras. Sin embargo, también se encuentra presente en otros fluidos biológicos, lo que significa que su detección en las muestras analizadas, especialmente en muestras tomadas de cavidades corporales como la vagina y el recto, no es inusual (Pifarré, 2021). De hecho, a veces su presencia puede ser significativa en estas áreas. Por lo tanto, es necesario tomar con precaución un resultado positivo de α -amilasa, a menos que se trate de muestras tomadas en la superficie de la piel, como el cuello o los senos, donde la presencia de esta enzima

no suele ser tan alta. En estos casos, un resultado positivo en la piel puede ser bastante concluyente (Pifarré, 2021).

La detección de α -amilasa a menudo se realiza mediante técnicas como la inmunocromatografía (Figura 3). También se utilizan otros sistemas, como la metodología de contacto por papel o pruebas colorimétricas que se basan en los cambios de color causados por la degradación del almidón (Pifarré, 2021).

Figura 3:

El resultado positivo de un análisis de Amilasa y debajo, el resultado negativo.



Nota: elaboración propia a partir de la visita del laboratorio BIOMICS.

Es importante señalar que en ciertas ocasiones no es posible determinar el tipo de resto biológico encontrado debido a la escasa cantidad de muestra disponible. En estos casos, generalmente se procede directamente a realizar estudios de ADN para intentar individualizar la muestra (Prieto, 2004).

Asimismo, tal y como se ha referido en otras ocasiones en los casos de delincuencia sexual el semen es un elemento muy importante, que, en ocasiones, puede encontrarse mezclado con otros fluidos, ¿qué ocurre en los casos en los que no se visualizan espermatozoides? Se realiza la técnica de lisis diferencial (Pifarré, 2022).

La técnica de lisis diferencial consiste en utilizar la resistencia de los espermatozoides a los procesos de digestión proteolítica en el laboratorio. Estos procesos

tienen la capacidad de romper otros tipos de células, liberando su ADN, mientras que los espermatozoides permanecen intactos. A través de la centrifugación y el lavado, podemos separar y eliminar el ADN de las células no espermáticas, conservando así un sedimento que contiene los espermatozoides (Pifarré, 2022). Después de esta primera etapa, realizamos una segunda observación microscópica que permite eliminar las células no espermáticas, especialmente en casos donde hay una gran cantidad de células epiteliales de descamación provenientes de la víctima que podrían ocultar la visualización de espermatozoides durante la primera observación microscópica. Esto aclara el campo visual y permite la detección de los espermatozoides en caso de estar presentes (Pifarré, 2022).

Tras haber identificado la procedencia de los diferentes vestigios, se procede a la realización del análisis de ADN. El ADN se encuentra dentro de las células que componen los diferentes tejidos del individuo y, antes de poder analizarlo, es necesario aislarlo separándolo de los demás componentes celulares (Prieto, 2004). Aunque inicialmente se aísla la molécula de ADN completa, posteriormente se estudian solo ciertas regiones de ella, específicamente las zonas más variables conocidas como marcadores, sistemas o loci polimórficos. Según Prieto (2004), el análisis del ADN consta de cuatro fases: (i) Extracción de ADN; (ii) Cuantificación de ADN; (iii) Amplificación de ADN; (iv) Detección del producto amplificado o tipificación.

3.3.1 Extracción de ADN

Este paso crucial consiste en separar la molécula de ADN de los demás componentes celulares. Es un proceso fundamental en el análisis genético de muestras forenses, ya que el éxito del estudio depende en gran medida de un aislamiento adecuado del ADN (Prieto, 2004). Existen diversas sustancias que pueden interferir en este proceso, ya sea por los reactivos utilizados durante la extracción o por los soportes en los que se encuentran las manchas biológicas. La duración y eficacia de este proceso también dependen del tipo de muestra biológica que se esté analizando (Prieto, 2004). En este sentido, los principales pasos de una extracción estándar de ADN, según Villalobos (2017), son los siguientes:

- **Lisis celular:** implica la destrucción de las células, ya sea células epiteliales (como las presentes en la mucosa oral, fluidos vaginales, leucocitos en sangre, etc.). En muchos casos, se requiere un paso previo para obtener las células, como en el caso

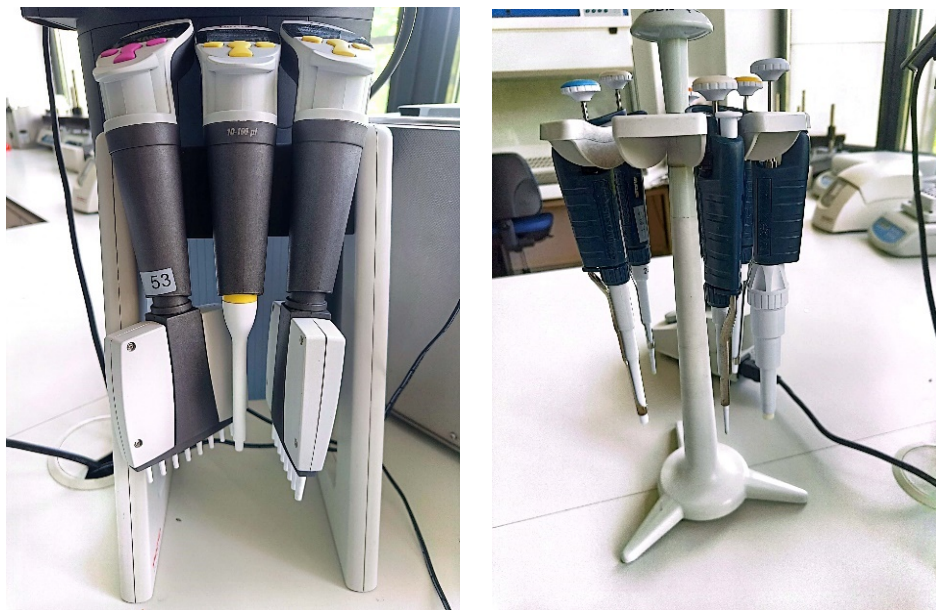
de la sangre donde se deben separar los leucocitos (que contienen ADN) de los eritrocitos (que no contienen ADN). Otros ejemplos incluyen la descalcificación del hueso para obtener osteocitos o la desintegración y homogeneización del tejido.

- **Purificación:** se realiza para separar el ADN de las proteínas y los restos celulares que quedaron después de la lisis celular previa. Este paso es importante para obtener una muestra de ADN pura.
- **Precipitación:** consiste en separar el ADN deshidratándolo mediante la adición de alcohol absoluto y luego dejándolo secar. Este proceso contribuye a concentrar el ADN y facilitar su manipulación posterior.
- **Resuspensión:** implica rehidratar el ADN utilizando una solución que lo protege contra posibles degradaciones. Esta etapa es necesaria para mantener la integridad del ADN y prepararlo para su posterior análisis o almacenamiento.

Estos pasos son fundamentales en el proceso de extracción de ADN, ya que permiten obtener una muestra pura y viable para su posterior análisis genético.

Figura 4 y Figura 5:

Diferentes tipos pipetas utilizadas para el manejo de las células que contienen ADN



Nota: elaboración propia a partir de la visita del laboratorio BIOMICS.

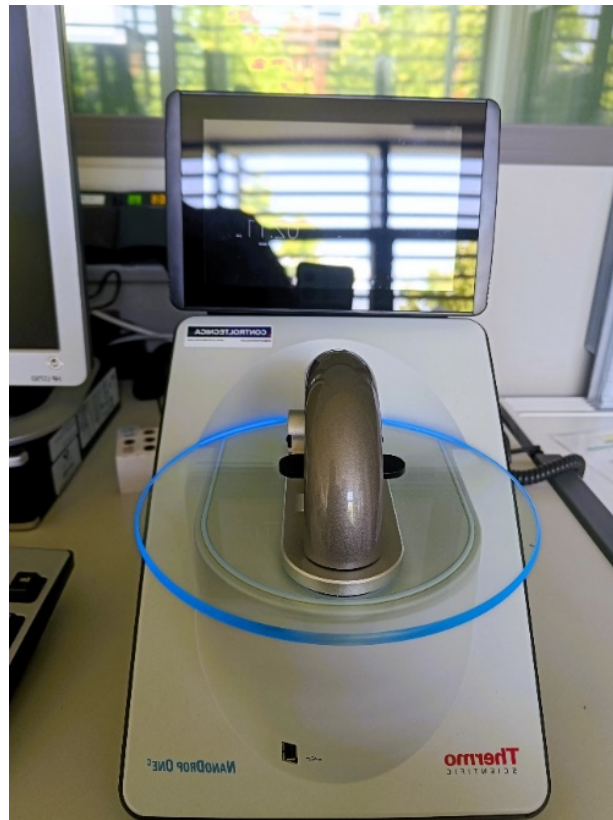
3.3.2 Cuantificación de ADN

Hasta alrededor del año 2000, los expertos en genética forense no tenían la capacidad de obtener perfiles de ADN a partir de muestras muy pequeñas de material biológico. Sin embargo, a medida que se han desarrollado las técnicas forenses de ADN, se ha mejorado su sensibilidad, es decir, su capacidad para detectar cantidades cada vez más diminutas de ADN (Carracedo et al., 2019). Inicialmente, se requería una muestra relativamente grande de sangre o semen, del tamaño aproximado de una moneda de un céntimo de euro, para generar un perfil de ADN. Sin embargo, en la actualidad, es posible generar un perfil con tan solo 50 picogramos de ADN, lo cual equivale aproximadamente a ocho células humanas (rastros invisibles a simple vista) (Carracedo et al., 2019).

Una vez finalizada la extracción, se realiza la cuantificación para determinar la cantidad de ADN aislado y su estado (intacto o fragmentado) (Prieto, 2004). Una de las técnicas más simples es la espectrofotometría (Figura 6), que permite analizar cantidades mínimas de muestra (1 μ L). Además de medir la concentración de ADN, se evalúa su pureza en términos de la presencia de sales o proteínas que puedan interferir en el posterior análisis del perfil genético (Villalobos, 2017). Sin embargo, para los genetistas forenses, esta técnica puede resultar insuficiente debido al contexto criminal y a la posible escasez de muestras, lo que limita los ensayos o repeticiones que se pueden realizar. Por esta razón, las muestras forenses suelen ser cuantificadas mediante PCR en tiempo real.

Figura 6:

Aparato de espectrofotometría para realizar la cuantificación del ADN.



Nota: elaboración propia a partir de la visita del laboratorio BIOMICS.

El objetivo de este paso es comprender que a continuación se realizará la amplificación de los marcadores genéticos mediante PCR (Villalobos, 2017). La cuantificación mediante PCR en tiempo real consiste en amplificar la muestra de interés en presencia de muestras de ADN de diferentes concentraciones que sirven como referencia (por ejemplo, 0.5, 3, 5, 10, 20 ng/ μ L, etc.). Los equipos de PCR en tiempo real detectan con gran sensibilidad la amplificación de las muestras de referencia en comparación con la muestra de interés (Villalobos, 2017). En realidad, la PCR en tiempo real no cuantifica directamente la cantidad de ADN, sino que mide la capacidad de la muestra de interés para ser amplificada. A partir de esta información, se estima su concentración comparándola con las muestras de referencia, lo que prácticamente garantiza el éxito del siguiente proceso, que es la amplificación (Villalobos, 2017).

3.3.3 Amplificación de ADN

En esta fase, se copia repetidamente el fragmento específico de ADN que se desea analizar para obtener una cantidad adecuada que permita su detección. Este proceso se conoce como PCR (reacción en cadena de la polimerasa) y permite analizar pequeñas cantidades de muestra biológica. Por lo tanto, esta técnica permite, a partir de una cantidad ínfima de copias de ADN, multiplicarlas hasta disponer de millones de ellas, lo que no sólo permite estudios más completos y fiables, sino que también permite repetir dichos estudios tantas veces como sea preciso. Dicho de otra manera, por Hombreiro Noriega (2013, p. 48): “*Es una fotocopiadora de fragmentos de ADN que se pueden seleccionar previamente*”. En el caso de la genética forense, esta selección va dirigida a la individualización de perfiles genéticos e identificación de humanos y el establecimiento o descarte de lazos de parentesco entre ellos.

De modo que, la PCR consiste en la amplificación o replicación de millones de copias de secuencias del genoma, en este caso, de los marcadores STRs, lo que genera el perfil genético. La técnica de PCR se lleva a cabo en 25-30 ciclos, y en cada ciclo ocurren tres pasos (Villalobos, 2017): (i) desnaturalización, donde las cadenas de ADN se separan mediante calor; (ii) alineamiento de los iniciadores o primers, que se unen por complementariedad de bases y delimitan las regiones que se replicarán; (iii) y extensión, en la cual la secuencia objetivo (los marcadores STRs) se duplica en cada ciclo de PCR. Teóricamente, después de 25 a 30 ciclos, se habrán generado millones de copias de la secuencia, lo que facilita su posterior análisis.

En la genética forense actual, la técnica de PCR ha sido mejorada mediante la inclusión de varios pares de primers para amplificar simultáneamente de 15 a 24 marcadores en lo que se conoce como PCR múltiplex (Figuras 7 y 8) (Villalobos, 2017). Además, la química de amplificación utilizada en los kits comerciales para perfiles genéticos ha mejorado significativamente, haciéndolos más resistentes a los inhibidores que suelen estar presentes en las muestras biológicas de casos forenses, propios del suelo, sangre coagulada, entre otros (Villalobos, 2017).

Figura 7 y Figura 8:

Aparatos para ejecutar la técnica de PCR multiplex



Nota: elaboración propia a partir de la visita del laboratorio BIOMICS.

3.3.4 Detección del producto amplificado o tipificación

Esta es la etapa final del análisis molecular, en la que se caracterizan y clasifican los fragmentos de ADN estudiados en cada muestra para diferenciarlas unas de otras. Se determina la presencia o ausencia de ciertos marcadores genéticos y se realiza la comparación con perfiles de referencia para establecer la identidad del individuo (Prieto, 2004).

Las variantes de STRs se distinguen según el número de repeticiones de una secuencia corta, lo que resulta en alelos de diferentes tamaños. Para observar estas diferencias, se utiliza la electroforesis capilar (EC), en la cual el producto de PCR de cada muestra se separa en un tubo capilar lleno de polímero mediante un campo eléctrico (Villalobos, 2017). Este proceso toma aproximadamente 30 minutos por muestra. Como parte de la EC, también se detectan los productos y se muestra una representación gráfica llamada electroferograma. La ventaja de la EC radica en que los capilares dispersan eficientemente el calor debido a su relación área/volumen, permitiendo el uso de voltajes altos y una separación rápida y precisa de los fragmentos amplificados. En los laboratorios de genética forense, los secuenciadores de ADN (o analizadores genéticos)

de la marca Applied Biosystems (Figura 9) son ampliamente utilizados para este propósito (Villalobos, 2017).

Por último, en el electroferograma (Figura 10) se pueden apreciar una serie de picos que, según su color y ubicación, representan los genotipos del individuo para cada STR, lo cual constituye su perfil genético. Si el individuo muestra uno o dos picos (alelos), indica que su genotipo es homocigoto o heterocigoto, respectivamente (Villalobos, 2017).

Figura 9:

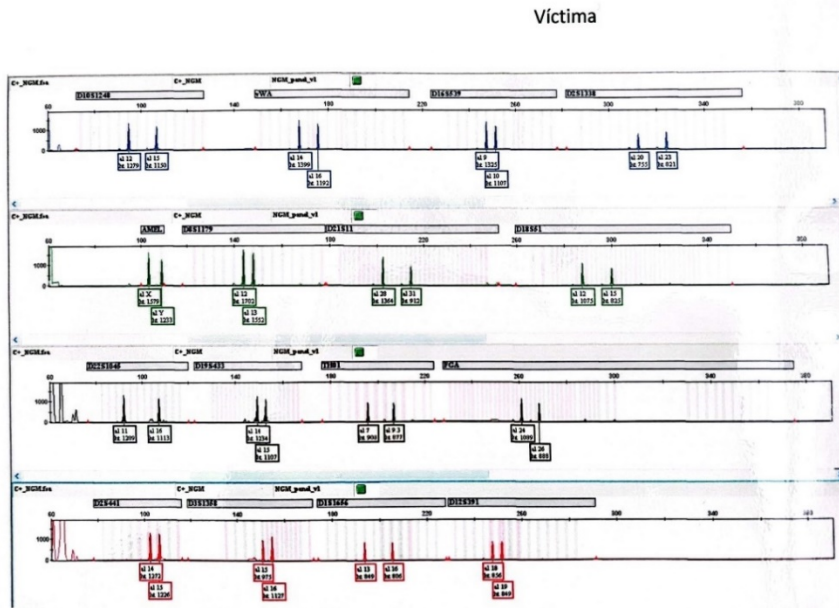
Secuenciador de ADN. Modelo ABI-Prism 3130 de la marca Applied Biosystems



Nota: elaboración propia a partir de la visita del laboratorio BIOMICS.

Figura 10:

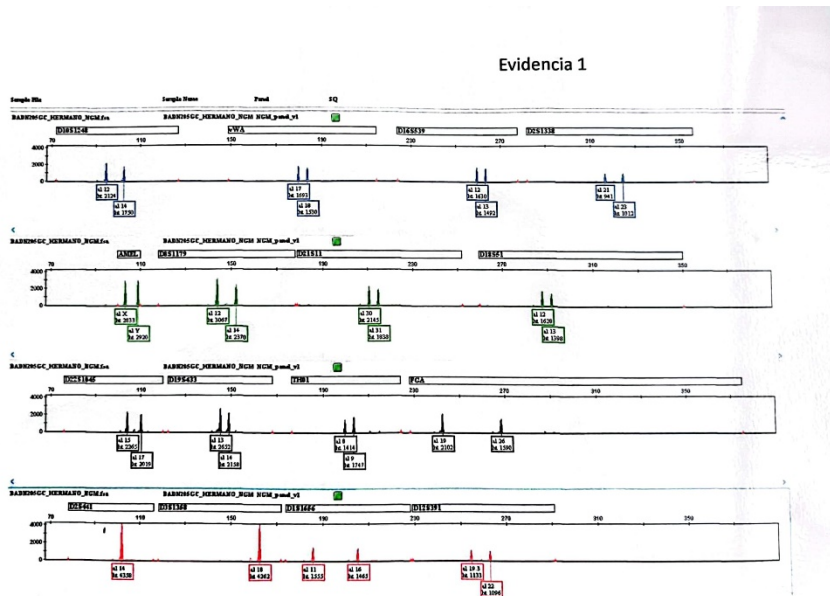
Perfil genético de víctima representado por electroferograma emitido por el secuenciador.



Nota: elaboración propia a partir de la visita del laboratorio BIOMICS.

Figura 11:

Perfil genético sacado de muestra indubitada de agresor, representado en electroferograma.



Nota: elaboración propia a partir de la visita del laboratorio BIOMICS.

3.3.5 Marcadores genéticos en genética forense

Los marcadores preferidos en genética forense son los STRs tetranucleótidos, lo que significa que su unidad de repetición consiste en cuatro pares de bases (por ejemplo, GCTG). Estos marcadores tienen la ventaja de generar menos artefactos durante la amplificación en comparación con los dinucleótidos (por ejemplo, GA) o trinucleótidos (por ejemplo, GCT), que son conocidos en inglés como "stutter" o tardamudeo (Villalobos, 2017). El stutter se produce cuando la polimerasa se desliza durante la PCR y amplifica un fragmento adicional que tiene una unidad de repetición menos que el alelo real. En los electroferogramas, esto se observa como un pico de menor tamaño a la izquierda del pico que representa al alelo (Villalobos, 2017; Carracedo et al., 2019). En el caso de los STRs dinucleótidos y trinucleótidos, el stutter suele ser significativamente más grande e incluso puede ser igual o mayor que el alelo real, lo que dificulta la interpretación y reproducción de los genotipos (Villalobos, 2017; Carracedo et al., 2019).

A finales de 2012, se inició una nueva era en los kits comerciales de análisis de ADN con fines forenses, ya que los fabricantes desarrollaron reacciones multiplex que incluían más de 20 marcadores, e incluso llegaron a 25 marcadores STR (Hombreiro, 2013). Estos sistemas globales de análisis incorporaron todos los marcadores autosómicos relevantes utilizados en diferentes países, e introdujeron el análisis conjunto de marcadores presentes en los cromosomas sexuales, como los STR específicos del cromosoma Y (Hombreiro, 2013). En general, estos sistemas buscaban superar las limitaciones de los kits anteriores y estandarizar los marcadores analizados a nivel mundial, lo que permitiría comparaciones entre laboratorios de diferentes países que antes podían estar utilizando marcadores STR diferentes o con poca similitud (Hombreiro, 2013).

Por un lado, debido al elevado número de marcadores, estos kits de análisis global permiten obtener frecuencias de perfiles genéticos mucho más precisas en los cálculos estadísticos poblacionales (Hombreiro, 2013). En segundo lugar, incluso en muestras degradadas o con baja cantidad de copias de ADN en las que algunos marcadores no amplifiquen, aún se cuenta con un gran número de STR para realizar evaluaciones estadísticas y lograr la individualización del perfil genético. En tercer lugar, al incluir otros marcadores específicos de sexo masculino a través de los Y-STR, se eliminan problemas puntuales de análisis relacionados con mutaciones en el marcador de

sexo, que en casos excepcionales podrían llevar a errores en la asignación de sexo (Hombreiro, 2013).

3.3.6 Selección de polimorfismos a estudiar.

En este apartado abordaremos el enfoque de selección de polimorfismos para el estudio genético, considerando las características de cada muestra. En general, se sugiere realizar el análisis de polimorfismos de ADN nuclear siempre que sea posible, ya que estos proporcionan la mayor cantidad de información sobre la identidad de la muestra (Prieto, 2004). La elección de una región específica del ADN nuclear se basa, en parte, en resultados previos que demuestran la eficacia de la reacción de PCR. En casos en los que las muestras estén en mal estado de conservación, la extracción de ADN puede resultar en fragmentos de solo 100-200 nucleótidos debido a la degradación, y a menudo estas muestras contienen ADN bacteriano. Por otro lado, las muestras de tejido fresco ofrecen fragmentos de ADN de más de 10.000 nucleótidos (Prieto, 2004). De modo que, en ciertas situaciones, se recomienda analizar otros tipos de polimorfismos, como los polimorfismos de ADN mitocondrial y los polimorfismos ligados al cromosoma Y.

En lo que respecta a los crímenes sexuales, las técnicas moleculares para investigar los polimorfismos del ADN mitocondrial pueden ser de utilidad en los siguientes casos (Prieto, 2004; Carracedo et al., 2019):

- Cuando las muestras enviadas al laboratorio presentan una gran degradación debido a condiciones de conservación deficientes o a su antigüedad. En estas situaciones, el ADN mitocondrial suele estar en mejores condiciones que el ADN nuclear debido a su mayor número de copias por célula. Si los resultados del análisis del ADN nuclear de este tipo de muestras no son concluyentes, se pueden obtener resultados positivos al analizar el ADN mitocondrial. Esto es especialmente relevante en restos óseos y dientes antiguos o sometidos a condiciones extremas.
- Cuando la cantidad de muestra disponible es mínima, como en el caso de pelos sin bulbo. Un pelo con bulbo en descomposición o un fragmento de pelo contienen una cantidad tan reducida de ADN nuclear que los análisis utilizando este tipo de ADN podrían resultar negativos. Por lo tanto, en estos casos, se realiza rutinariamente el análisis del ADN mitocondrial.

- Cuando existe un sospechoso en un delito pero no se cuenta con una muestra incuestionable del mismo, se puede recurrir al análisis del ADN mitocondrial de un familiar relacionado por vía materna para descartarlo como sospechoso.

Asimismo, existen varios casos especiales en los que el análisis de los polimorfismos del cromosoma sexual Y puede ser de gran utilidad:

En primer lugar, en casos de mezclas (Prieto, 2004; Carracedo et al., 2019):

- Agresiones sexuales en las que el semen del sospechoso masculino está mezclado con células de la víctima femenina: Los polimorfismos del cromosoma Y permiten detectar de manera más precisa la presencia de ADN de un individuo masculino, incluso cuando está inmerso en una gran cantidad de ADN femenino. En comparación, los marcadores autosómicos tienden a amplificar preferentemente el material femenino si la cantidad de células epiteliales femeninas es mucho mayor que el número de espermatozoides. Además, el uso de polimorfismos del cromosoma Y facilita la inclusión o exclusión de un sospechoso de manera conveniente.
- Delitos sexuales en los que el agresor es un individuo azoospermico: Los individuos azoospermicos carecen de espermatozoides en su eyaculado debido a defectos congénitos, vasectomía o factores ambientales. Los espermatozoides son la principal fuente de ADN en las muestras de semen, por lo que un individuo azoospermico tiene menos ADN seminal disponible para el análisis. La cantidad de ADN por mililitro en el eyaculado de un individuo con esperma es aproximadamente de 450 microgramos en los espermatozoides, mientras que en los leucocitos y células epiteliales es de 30 microgramos. Por lo tanto, en un individuo azoospermico, el contenido de ADN es aproximadamente solo el 6.3% del contenido en un individuo con esperma. Por las mismas razones que en el caso anterior, es posible detectar ADN de las células epiteliales y los leucocitos en eyaculados de individuos vasectomizados, incluso cuando está mezclado con el ADN de la víctima.
- Agresiones sexuales múltiples: El uso de los microsatélites del cromosoma Y en estos casos permite determinar el número mínimo de agresores.

- En otros tipos de mezclas, como mezclas de sangre-sangre, sangre-saliva o sangre-pelos, el cromosoma Y es una herramienta de trabajo que puede proporcionar información valiosa.

En segundo lugar, se contemplan como herramienta de "screening" en casos de agresión sexual: Los polimorfismos Y pueden ser utilizados para relacionar rápidamente casos utilizando bases de datos y para excluir sospechosos de manera ágil antes de profundizar en marcadores autosómicos (Prieto, 2004).

3.3.7 Protocolos internos del laboratorio para garantizar la integridad de las pruebas

En cuanto a las instalaciones y condiciones ambientales, el laboratorio será controlado y limitado. De este modo, El laboratorio debe contar con las instalaciones, infraestructura y recursos adecuados para garantizar la integridad y seguridad de las muestras, así como tomar medidas para minimizar la contaminación externa (GHEP-ISFG, 2001). Estos aspectos de la organización del laboratorio deben ser documentados por escrito e incluir las siguientes recomendaciones (GHEP-ISFG, 2001):

- Con el fin de minimizar el problema de la contaminación, es necesario que el laboratorio cuente con una estructura organizativa que asegure una estricta separación física entre el área de Pre-PCR (examen preliminar de evidencias, extracción de ADN y preparación de PCR) y el área de Post-PCR (manejo, análisis y almacenamiento de los productos de PCR).
- Se recomienda también implementar una separación espacial o temporal entre las diferentes actividades dentro del área de Pre-PCR (examen de evidencias, extracción de ADN, preparación de PCR), así como tomar medidas de seguridad adicionales como el uso de cabinas de seguridad biológica, descontaminación de superficies de trabajo y el uso de indumentaria de laboratorio específica para cada área.
- Asimismo, se recomienda en la medida de lo posible, establecer una separación en el área de Pre-PCR entre las evidencias biológicas y las muestras de referencia indubitadas, de manera que se evite cualquier posibilidad de contaminación cruzada.

- El laboratorio debe desarrollar sistemas de monitoreo de la contaminación y establecer procedimientos efectivos de descontaminación en caso de que se detecte alguna contaminación.

En lo que respecta a la manipulación de objetos de análisis El laboratorio tiene la responsabilidad de asegurar la confidencialidad, identidad e integridad de las muestras durante los procesos de recepción, manipulación y conservación. Para ello, se deben establecer procedimientos escritos y mantener registros que garanticen lo siguiente (GHEP-ISFG, 2001):

- Cada muestra debe ser marcada de manera individual y contar con una identificación clara y única.
- Se establecerá una "cadena de custodia" que registre todas las manipulaciones realizadas y que identifique a las personas responsables de llevarlas a cabo.
- Se implementarán procedimientos escritos para minimizar la pérdida, contaminación, intercambio o deterioro de las muestras.
- Siempre que sea posible, se conservará una porción adecuadamente documentada de la muestra para realizar un contra-análisis en caso necesario.
- El laboratorio deberá contar con un área adecuada para el almacenamiento de las muestras.

También es de suma importancia que todo el personal del laboratorio esté sometido a un análisis genético y que se disponga de sus perfiles genéticos, con el objetivo de verificar si un perfil genético específico o algún componente de una mezcla corresponde a algún miembro del personal (Pifarré, 2022). Este registro de perfiles genéticos del personal, conocido como "fichero staff", debe incluir a todo el personal del laboratorio, así como al personal que trabaja en el área de Gestión de Muestras, personal administrativo que necesita acceder a las instalaciones del laboratorio, médicos forenses que procesan muestras en sus propios laboratorios y luego las envían al laboratorio principal, y también al personal de limpieza y al personal operativo que trabaja durante periodos prolongados, como en casos de reformas en las instalaciones que requieren la presencia continua de los operarios hasta que se complete la tarea (Pifarré, 2022).

3.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS'

Una vez completado el estudio molecular, se lleva a cabo el análisis de los resultados. Podemos encontrarnos con dos situaciones distintas: (i) Disponibilidad de

muestras indubitadas de referencia para comparar con las evidencias. (ii) Falta de acceso a muestras de referencia para hacer la comparación (Prieto, 2004).

En la primera situación, tras de obtener los distintos perfiles genéticos, es necesario someterlos a un exhaustivo proceso de revisión e interpretación. En primer lugar, se realiza una revisión de los controles negativos (sin ADN) y positivos (con ADN conocido) para detectar posibles contaminaciones y confirmar la correcta amplificación por PCR (Villalobos, 2017). También se examina la posible presencia de alelos adicionales (drop-in) o la pérdida de alelos (drop-out), que son más comunes en muestras degradadas o con cantidades mínimas de ADN. Estos fenómenos pueden generar resultados estocásticos o aleatorios que no son reproducibles y no representan el perfil genético real (Villalobos, 2017).

Una vez que se ha verificado el estricto cumplimiento de los procesos de gestión de calidad a los que todos los laboratorios de genética forense deben adherirse, se realiza una comparación para determinar la concordancia entre los perfiles genéticos y establecer si un individuo acusado es la fuente u origen de una evidencia biológica encontrada en la escena de un crimen. Así, de esta primera situación pueden surgir otras 3 posibilidades:

- Por un lado, puede ocurrir que parte del perfil genético de un sospechoso coincida parcialmente o sea de baja calidad en comparación con el perfil genético parcial de la muestra dubitada. En estos casos, muchos informes indicarán expresiones como las siguientes: "El perfil genético obtenido de la muestra es parcial y/o de baja calidad. No se puede descartar una coincidencia entre el perfil genético del sospechoso y el perfil genético de la muestra. Sin embargo, debido a la baja calidad del perfil, no es posible realizar una evaluación estadística de la coincidencia o compatibilidad observada" (Pifarré, 2021).
- Por otro lado, si los marcadores genéticos valorables, es decir, que cumplen con los criterios de calidad del laboratorio, cuando se comparan con los mismos marcadores del perfil del sospechoso resulta que no son coincidentes, ese perfil parcial puede tener valor "exculpatorio" o de exclusión. En ese caso, es obligatorio repetir la muestra de referencia para confirmación del perfil obtenido previamente (Pifarré, 2021).
- Finalmente, siempre que se produce una coincidencia o compatibilidad entre un perfil genético dubitado y uno indubitado, es necesario realizar una evaluación

estadística para determinar la probabilidad de que la coincidencia sea al azar en la población con ese perfil genético. Esto se basa en el uso de bases de datos poblacionales que contienen las frecuencias de cada variante alélica dentro de la población de referencia. El resultado de esta evaluación se expresa mediante un coeficiente de verosimilitud o LR (likelihood ratio). Para llevar a cabo este cálculo estadístico, cada laboratorio utiliza herramientas bioinformáticas, como el aplicativo LIMS, que facilitan el proceso (Pifarré, 2021; Pifarré, 2022).

En situaciones donde no se disponga de muestras de referencia para la comparación con las evidencias, se podrá introducir los perfiles genéticos obtenidos en una base de datos de perfiles genéticos. Esto permite relacionar diferentes delitos entre sí, facilitando así las investigaciones policiales y judiciales en casos de reincidencia (Prieto, 2004).

3.4.1 Utilización de bases de datos

Como ya hemos visto, una vez obtenido el perfil de ADN a partir de la evidencia encontrada en la escena del crimen, el siguiente paso consiste en compararlo con los perfiles de ADN de las personas bajo investigación para encontrar una coincidencia, como por ejemplo, un sospechoso conocido. En casos en los que no se ha identificado a ningún sospechoso, este proceso implica realizar una búsqueda en una base de datos de ADN (Carracedo, et al., 2019).

En la mayoría de los países europeos, existe una base de datos nacional de ADN. Sin embargo, las circunstancias que determinan quiénes deben proporcionar una muestra de ADN y qué perfiles de ADN se pueden conservar en estas bases de datos varían considerablemente de un país a otro (Carracedo, et al., 2019). En algunos lugares, se pueden tomar muestras de ADN al momento de un arresto, pero los perfiles de ADN solo se pueden mantener en la base de datos durante un período limitado, a menos que la persona sea condenada por un delito grave. En otros países, se pueden almacenar perfiles de ADN de personas condenadas por cualquier delito. Las bases de datos nacionales de ADN también incluyen perfiles de ADN recuperados de escenas de crímenes, para poder relacionarlos en el futuro con arrestos de personas cuyo ADN no estaba registrado en ese momento. Esto permite a los investigadores vincular delitos que podrían haber sido cometidos por la misma persona (Carracedo, et al., 2019).

Aunque muchas bases de datos nacionales de ADN contienen un gran número de perfiles genéticos, no incluyen los perfiles de ADN de todos los habitantes del país. Esto significa que, aunque se encuentre ADN en la escena de un crimen, a menos que el perfil de ADN del culpable ya se encuentre en la base de datos, no se obtendrá necesariamente una coincidencia (Carracedo, et al., 2019; Alonso, 2004).

La implementación de la base de datos nacional de ADN en España se realizó mediante la aprobación de la Ley Orgánica 10/2007, tal y como se ha visto en el marco normativo. Esta base de datos permite el registro de perfiles de ADN de sospechosos, detenidos e imputados en casos de delitos graves, así como de muestras biológicas obtenidas durante investigaciones criminales. En la actualidad, alberga más de 357,000 perfiles de ADN de personas identificadas, además de aproximadamente 101,000 perfiles de ADN de personas desconocidas encontrados en lugares de delitos (Carracedo, et al., 2019).

España, existen 19 laboratorios acreditados, de los cuales 16 son públicos y tres son privados, autorizados por la Comisión Nacional para el Uso Forense del ADN para llevar a cabo pruebas de ADN en el ámbito forense (CNUFADN, 2023). Las instituciones acreditadas para registrar los perfiles de ADN en la base de datos nacional incluyen la Comisaría General de Policía Científica y Laboratorios Territoriales (Ministerio del Interior), el Servicio de Criminalística de la Guardia Civil (Ministerio del Interior), el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses (Ministerio de Justicia), la Unidad de Policía Científica de la Ertzaintza, la División de Policía Científica de los Mossos de Esquadra y la División de Policía Científica de la Policía Foral de Navarra. Estas instituciones utilizan el software CODIS (del inglés, Combined DNA Index System) del FBI, y existen varios nodos locales conectados en red al nodo estatal gestionado por la Secretaría de Estado de Seguridad (Ministerio del Interior) (CNUFADN, 2023).

Cuando se compara un perfil de ADN encontrado en la escena de un crimen con la información de la base de datos nacional de ADN, si se obtiene una coincidencia, puede significar que se ha encontrado el ADN de esa persona en el lugar del delito, que ha ocurrido contaminación o que se trata de un falso positivo (una coincidencia fortuita con una persona que no está relacionada con el delito). El siguiente paso consiste en evaluar estadísticamente el valor probatorio del ADN para respaldar la hipótesis de que la muestra provenga de una persona específica (Carracedo, et al., 2019).

Aunque las probabilidades de que coincidan dos perfiles de ADN completos de personas no relacionadas son extremadamente bajas, los perfiles de ADN encontrados en lugares de delitos no suelen ser perfectos y es posible que no contengan información sobre todos los marcadores genéticos analizados, es decir, pueden ser perfiles de ADN parciales. Cuanto menor sea el número de marcadores genéticos que compongan el perfil de ADN, mayor será el riesgo de obtener una coincidencia errónea (Carracedo, et al., 2019).

3.4.2 Valoración estadística de la prueba

Los expertos en genética forense suelen emplear al menos 15 marcadores genéticos, seleccionados de entre el genoma humano, además de un indicador de sexo, para crear el perfil de ADN de un individuo. Estos marcadores se eligen debido a su alta variabilidad, lo que significa que las posibilidades de encontrar a otra persona (sin relación de parentesco) con exactamente la misma secuencia de ADN en cada ubicación son extremadamente bajas, cuando se dispone de un perfil completo de ADN (con información para los 15 marcadores) (Prieto & Carracedo, 2013; Carracedo et al., 2019). Esto implica que el riesgo de que el ADN recolectado en una escena del crimen coincida con el de una persona no relacionada con la fuente real es muy bajo, generalmente inferior a 1 en mil millones, y a menudo mucho más bajo que esta cifra.

Sin embargo, muchos de los perfiles de ADN recuperados en escenas del crimen no son completos, ya que les faltan algunos marcadores genéticos o son una mezcla de ADN de dos o más personas. Entonces, ¿es el sospechoso quien dejó su ADN en el lugar del delito? La prueba de ADN no proporcionará una respuesta definitiva de "sí" o "no", sino que solo ofrecerá una probabilidad (Prieto & Carracedo, 2013; Carracedo et al., 2019).

Se considera que hay una "coincidencia" en un perfil de ADN cuando todos los alelos extraídos de una mancha en la escena del crimen son idénticos a los de la muestra de referencia con la que se está comparando. Es importante destacar que se trata de una coincidencia entre muestras, no de una coincidencia con una persona específica. Es posible que varios individuos en la base de datos tengan un perfil de ADN que coincida con el de la escena del delito, aunque ninguno de ellos haya dejado realmente su ADN allí (Prieto, 2004; Prieto & Carracedo, 2013; Carracedo et al., 2019; Pifarré, 2022).

Una vez analizada una muestra de ADN, se pueden extraer dos tipos de estadísticas o cálculos. El más sencillo consiste en calcular la probabilidad de coincidencia, que se refiere a la rareza de un perfil de ADN en una población aleatoria y no relacionada. Es importante no confundir esta probabilidad con la probabilidad de que una persona sea inocente del delito, aunque a menudo se produce esta confusión (Carracedo et al., 2019). Por ejemplo, si un perfil de ADN en la escena del delito coincide con el del sospechoso y la probabilidad de que tal coincidencia ocurra con el ADN de otra persona es de 1 en 100 millones, esto no significa que la probabilidad de que el sospechoso sea inocente sea de 1 en 100 millones. Esta interpretación errónea se conoce como la "falacia del fiscal" (Carracedo et al., 2019).

Poniendo un ejemplo más sencillo, imaginemos que la sangre encontrada en la escena del crimen es de un tipo tal que solo la sangre de una de cada 1000 personas coincide con ella. Esto no implica que la probabilidad de que el acusado sea inocente es de 1/100 (0,001) o que la probabilidad de ser culpable sea de 0,999. Esta afirmación sería falsa, ya que, si la población de posibles autores del crimen es de 100.000 personas, en ese caso habría 100 personas cuya sangre coincide con la de la escena del crimen, y entre esas 100 personas se encuentra el acusado.

En consonancia con lo anterior, estas probabilidades de coincidencia de perfiles (no de culpabilidad o inocencia) pueden presentarse ante el tribunal cuando se disponga de perfiles completos de ADN de una sola persona, así como en el caso de perfiles de ADN parciales. Sin embargo, estas cifras no se pueden aplicar a mezclas de ADN de dos o más personas o cuando falte información sobre algunos alelos. En estas situaciones, se utiliza un segundo tipo de análisis: un coeficiente de verosimilitud (Carracedo et al., 2019).

Un coeficiente de verosimilitud, también conocida como aproximación bayesiana o teorema de Bayes, es un método para evaluar las pruebas a favor de dos hipótesis opuestas, una desde la perspectiva de la acusación y otra desde la defensa. Compara la probabilidad de obtener las pruebas observadas en cada hipótesis (Prieto & Carracedo, 2013; Carracedo et al. 2019).

En el caso de un perfil de ADN en una muestra de sangre, se deben considerar los siguientes aspectos:

a) Suponiendo que la sangre pertenece al acusado, ¿cuál es la probabilidad de obtener la coincidencia?

b) Suponiendo que la sangre proviene de otra persona, ¿cuál es la probabilidad de obtener la coincidencia?

El coeficiente de verosimilitud se calcula dividiendo el valor obtenido en (a) entre el valor obtenido en (b). Si el resultado es mayor que uno, la versión de los hechos presentada por la acusación tiene un respaldo mayor; si es inferior a uno, la versión con mayor respaldo es la de la defensa. Mientras que, si es igual a uno la evidencia es neutra, lo que implica el apoyo por igual a la hipótesis del fiscal y la de la defensa (Carracedo et al. 2019).

Aunque algunos países europeos utilizan explicaciones verbales para aclarar el significado del valor del coeficiente de verosimilitud (LR, por sus siglas en inglés, "likelihood ratio"), los estándares internacionales coinciden en que los coeficientes de verosimilitud (LR) son el mejor enfoque para evaluar perfiles de ADN complejos, y en España, todos los laboratorios utilizan este estándar. Sin embargo, algunos laboratorios en otros países están demorando en adoptarlos debido, en parte, al temor de que los tribunales malinterpreten su significado (Carracedo et al. 2019).

No todas las pruebas forenses, e incluso no todas las pruebas de genética forense pueden proporcionar un valor de probabilidad. Sin embargo, en la mayoría de los casos de pruebas de ADN, podemos pasar de lo que se conoce como "opinión de un experto" a lo que se denomina "evidencia científica". En este último caso, llegamos a conclusiones cuya incertidumbre, inherente a cualquier opinión, puede ser calculada de manera objetiva (Prieto & Carracedo, 2013).

El valor de la opinión de un experto depende de diversos factores, como su calificación y experiencia. En el caso de una evidencia científica, el valor de la opinión siempre puede ser objetivado y cuantificado (Prieto & Carracedo, 2013).

El valor de probabilidad que se puede obtener con una prueba de ADN suele ser muy alto, pero en algunas ocasiones puede no ser tan alto. Es crucial que los peritos calculen y comuniquen correctamente este valor al juez, y a su vez, es fundamental que los jueces lo entiendan adecuadamente y lo valoren correctamente en conjunto con otras pruebas. Por lo tanto, no se puede evaluar una prueba sin una preparación adecuada

(Prieto & Carracedo, 2013). Es por ello que, en el entrenamiento de los peritos, tanto en el cálculo preciso de la probabilidad como en su comunicación, es clave. Además, por parte de los juristas, y especialmente de los jueces, es fundamental interpretar correctamente el valor proporcionado por el perito y saber cómo incorporarlo adecuadamente a otras pruebas para tomar una decisión final. Solo trabajando en conjunto, peritos y jueces se podrá aprovechar al máximo una prueba tan efectiva en numerosos casos penales y civiles (Prieto & Carracedo, 2013).

3.5 INFORME FINAL E INTERVENCIÓN DE LOS PERITOS DURANTE LA FASE DEL JUICIO ORAL

El informe se caracteriza por su objetividad y registra de manera cronológica todos los hallazgos de forma clara y precisa, siguiendo el método científico (Ministerio de Justicia, 2021). Los datos recopilados durante la anamnesis y los resultados de la exploración deben obtenerse de manera metódica y documentarse cuidadosamente para evitar omitir detalles importantes. Se recomienda utilizar formularios de examen estándar diseñados por cada Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses (IMLCF) según sus características organizativas y territoriales (Ministerio de Justicia, 2021).

El informe médico forense incluirá la hora, fecha y lugar del reconocimiento, así como la identificación del médico forense que participó en el proceso. Todas las acciones relacionadas con la evaluación pericial de casos de violencia sexual se registrarán en el informe pericial, seguidas de las consideraciones y conclusiones pertinentes a cada caso (Ministerio de Justicia, 2021).

El derecho a la intimidad requiere la debida confidencialidad de los datos obtenidos durante cualquier intervención forense, y esto debe ser especialmente cuidadoso en casos de evaluación de víctimas de violencia sexual, donde se obtiene información personal sensible (Ministerio de Justicia, 2021). Al incorporarse al expediente judicial, el informe pericial se convierte en un documento público, lo que implica que la información que contiene pierde su privacidad. Por lo tanto, el informe solo incluirá las referencias esenciales para la pericia encomendada, manteniendo la confidencialidad sobre otros datos conocidos que no sean relevantes para el caso (Ministerio de Justicia, 2021).

Para completar correctamente el informe médico forense, se deben seguir las siguientes recomendaciones (Ministerio de Justicia, 2021):

- Evitar el uso de abreviaturas incomprensibles fuera del ámbito médico.
- Indicar el origen de la información obtenida durante la anamnesis, por ejemplo, utilizando frases como "la mujer refiere...".
- Evitar emitir juicios o apreciaciones subjetivas, a menos que estén respaldados por deducciones técnicas basadas en evidencia y experiencia profesional.
- Evitar expresiones que prejuzguen o que no aporten relevancia desde una perspectiva pericial o científica, como "himen no visible o ausente" o "ninguna evidencia de abuso" en caso de ausencia de lesiones físicas.
- Fundamentar el diagnóstico sin establecer conclusiones fuera del ámbito médico. La evaluación jurídica de los hallazgos científicos corresponde a la autoridad judicial.
- Las fotografías tomadas, especialmente aquellas que involucren zonas íntimas, no se adjuntarán al informe. En su lugar, se indicará que se han recopilado dichas imágenes que se encuentran resguardadas en el IMLCF y pueden ser proporcionadas a la autoridad judicial cuando sea necesario. Es importante evitar adjuntar el informe médico-asistencial junto con el informe pericial, ya que este último se centra en aspectos médico-forenses y el informe médico-asistencial puede contener información relevante desde el punto de vista asistencial pero no relevante para el proceso forense, lo cual podría afectar el derecho de la víctima a preservar su intimidad en aquello que no sea pertinente para el procedimiento.
- En el informe, se recomendará a la autoridad judicial realizar un seguimiento continuo de la víctima.

Asimismo, la participación del médico forense en el juicio oral marca el final de su trabajo en las evaluaciones periciales a víctimas de violencia sexual, y durante esta etapa es importante tener en cuenta una serie de recomendaciones (Ministerio de Justicia, 2021):

- Se debe tratar a los profesionales del ámbito legal con respeto, incluso si no se está de acuerdo con sus opiniones o estrategias.
- Es fundamental ser sincero, educado y mantener el autocontrol.
- Se debe establecer contacto visual con quienes realicen el interrogatorio.
- Es importante no salirse del área específica de especialización o conocimiento.

- Se deben escuchar atentamente las preguntas y tomarse el tiempo necesario para responder.
- Se debe intentar utilizar un lenguaje sencillo y evitar el uso de terminología técnica. En caso de ser necesario utilizar términos técnicos, se deben explicar de manera comprensible.
- Ante preguntas compuestas, se deben dividir las respuestas según corresponda.
- Se debe responder únicamente a lo que se pregunta, solicitando aclaraciones o reformulaciones cuando sea necesario.
- No se debe proporcionar más información de la que se solicita por el deseo equivocado de ser más útil. En caso de que se solicite una opinión sobre la causa de ciertos hallazgos periciales, se debe informar sobre la probabilidad de que hayan ocurrido de una manera u otra, o incluso si la posibilidad es tan improbable que no debe considerarse.
- Las respuestas deben ser concisas y precisas, evitando expresiones como "yo creo" o "yo pienso".
- Si se comete algún error u omisión en el testimonio, se debe reconocer cortésmente.
- No hay que temer decir "no sé" cuando no se tiene la respuesta.
- Se debe mantener una actitud profesional y vestir adecuadamente.

Por otra parte, en lo que respecta a los genetistas que realizan las funciones de laboratorio, los informes que presentarán ante el juez deberán cumplir los siguientes requisitos, según el GHEP-ISFG (2001).

Cada laboratorio debe proporcionar un informe que presente de manera precisa, clara y sin ambigüedades los resultados del análisis y cualquier otra información relevante. El informe debe incluir al menos la siguiente información (GHEP-ISFG, 2001):

- Identificación completa del laboratorio.
- Identificación única del informe, como un número o título.
- Tipo de análisis realizado.
- Descripción de las muestras recibidas y analizadas.
- Descripción del procedimiento de muestreo, si corresponde.
- Descripción de los marcadores analizados y la metodología utilizada.

- Resultados y conclusiones obtenidos, así como opiniones e interpretaciones cuando sea necesario.
- Valoración estadística, si corresponde, siguiendo las recomendaciones de la ISFG, NRC report, u otros estándares aplicables.
- Firma e identificación de dos peritos, y en su caso, la aprobación del Director o responsable del laboratorio.
- Declaración de que el ensayo solo se refiere a los objetos sometidos a análisis. Indicación de que el informe no puede ser parcialmente reproducido sin la aprobación escrita del laboratorio.

Cualquier corrección o adición a un informe previo debe ser realizada a través de un nuevo documento claramente relacionado con el informe que se corrige o amplía. Asimismo, las opiniones o interpretaciones deben estar debidamente documentadas y claramente diferenciadas de los resultados del análisis, siendo realizadas por personal autorizado.

3.6 VALORACIÓN DE LA PRUEBA PERICIAL DE ADN POR PARTE DEL JUEZ

La valoración de la prueba es un aspecto fundamental en todo proceso legal. Constituye el último paso de la actividad probatoria, que consiste en la evaluación mental que realiza el juez con el objetivo de determinar la solidez o convicción que se puede obtener a partir de las pruebas recopiladas en el proceso (Vargas, 2010).

Durante las últimas décadas, la consideración judicial sobre la fiabilidad de la prueba genética ha sido ampliamente fortalecida, al punto de considerarla una prueba infalible que, de haberse realizado, otorga a la decisión probatoria un carácter concluyente o casi concluyente. En el ámbito judicial, existe una creencia casi unánime de que si se lleva a cabo en condiciones óptimas y utilizando métodos adecuados, los resultados de esta prueba son incuestionablemente verdaderos (Soletto, 2016). De hecho, la característica más destacada e importante de la prueba de ADN es su extraordinaria fiabilidad, que se basa en los términos probabilísticos en los que se expresan sus resultados.

En primer lugar, el hecho de que la pericia arroje un valor numérico, calculado mediante un procedimiento altamente automatizado, otorga a la prueba de ADN un

sentido de objetividad que pocas pruebas científicas poseen. Es una de las pruebas periciales más rigurosas en términos de percepción (Soletto, 2016).

En segundo lugar, los valores numéricos de carácter probabilístico que se expresan en la prueba suelen ser muy altos, llegando incluso a probabilidades de uno entre billones en la mayoría de los casos (Soletto, 2016).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la prueba de ADN, en casos de delitos que involucran restos humanos, siempre se dirige a probar la relación entre la persona sometida a la prueba y el delito en cuestión, específicamente; si estuvo presente en el lugar de los hechos, si luchó con la víctima, si pudo haber tenido relaciones sexuales con la víctima, entre otros aspectos. Por lo tanto, la prueba de ADN es una prueba indiciaria, lo que significa que no proporciona una identificación directa de la participación del sujeto en el delito, sino que establece una conexión o vínculo entre la muestra de ADN y el individuo (Alcoceba, 2018).

En este sentido, la jurisprudencia del Tribunal Supremo (STS 200/1980) destaca la importancia de que los indicios estén debidamente respaldados y relacionados entre sí, y que el razonamiento y el análisis se expliquen claramente. También mencionan la necesidad de evitar la sobrevaloración epistemológica y comprender que las pruebas científicas, incluida la prueba de ADN, están sujetas a interpretaciones y no garantizan una infalibilidad absoluta.

En muchas ocasiones, la mera existencia de una prueba de ADN parece predisponer a los operadores, especialmente en la fase de instrucción, a adoptar medidas restrictivas, e incluso puede influir durante el juicio (Alcoceba, 2018). Sin embargo, debemos tener en cuenta que la prueba de un indicio no implica la prueba de culpabilidad, a menos que sea un indicio muy relevante. En última instancia, corresponderá a las partes, a la defensa y a los jueces principalmente, asignar un peso proporcional a estos elementos, evitando así problemáticas como la falacia del fiscal (Alcoceba, 2018).

Por su parte, Flores Calvo et al., (2021) consideran que la prueba desempeña un papel fundamental en el proceso penal, ya que permite llegar a una conclusión o determinación. A través de la prueba, las partes pueden presentar, argumentar o refutar argumentos. Es considerada la pieza central del proceso, ya que la decisión del juez se basa en su evaluación y consideración. En el ámbito penal, la certeza de la prueba es especialmente relevante, ya que solo una prueba contundente puede convencer al juez de

la culpabilidad del acusado, superando así la presunción de inocencia. Por lo tanto, es crucial estudiar los elementos que conforman la prueba y los criterios que la vinculan con el proceso.

Como ya hemos adelantado, en el ámbito judicial, la introducción de pruebas científicas puede resultar complicada en cuanto a su interpretación, pero a menudo es vital para resolver controversias (Flores Calvo et al., 2021). Por esta razón, la doctrina legal ha proporcionado orientaciones al respecto, resultando sumamente útil lo señalado (Nieva, 2010) sobre cómo valorar una prueba de este tipo, siendo que la misma debe cumplir los siguientes requisitos (Alfaro, 2011):

- i. Coherencia interna y contenido razonable del informe pericial.
- ii. Cumplimiento de estándares científicos de calidad en la elaboración del informe y el uso de resultados estadísticos.
- iii. El perfil profesional del perito, que incluye su experiencia, publicaciones, nivel académico y especializaciones.

En referencia a este segundo punto, Alfaro (2011) señala que es importante que las técnicas y teorías científicas utilizadas para obtener datos y conclusiones hayan sido previamente aplicadas, sean relevantes y estén ampliamente aceptadas por la comunidad científica a nivel nacional e internacional, lo cual se evidencia a través de publicaciones de calidad. Además, es necesario que las técnicas utilizadas cumplan con los estándares y normas de calidad vigentes. El dictamen pericial debe incluir información sobre el posible margen de error y la variabilidad de los datos obtenidos, y estos aspectos deben poder ser contrastados estadísticamente. Asimismo, el dictamen debe basarse en hechos y datos suficientes, lo cual implica la recolección adecuada de muestras y evidencias..

3.7 VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE PRUEBAS DE ADN FRENTE AL RESTO DE TÉCNICAS FORENSES

Tras este exhaustivo análisis de la utilización de pruebas de ADN en el proceso penal, y más concretamente en delitos sexuales, podemos concluir que este tipo de pericias otorgan una gran ventaja con respecto al resto de pruebas forenses, y es su elevado grado de confiabilidad (Carracedo et al., 2019).

En los últimos años, se ha perdido confianza en otras técnicas forenses aparte del análisis de ADN, como el estudio de marcas de mordiscos o la microscopía del cabello, debido al descubrimiento de que diferentes analistas pueden llegar a conclusiones

distintas al examinar la misma prueba. Algunas de estas técnicas forenses más antiguas nunca fueron adecuadamente validadas ni sometidas a un riguroso examen científico antes de ser utilizadas en el sistema jurídico penal, lo que las hace altamente subjetivas (Carracedo et al., 2019).

Idealmente, las técnicas de análisis utilizadas en la ciencia forense deben ser validadas antes de ser admitidas en un tribunal. Para que un método sea validado, debe contar con respaldo científico de artículos revisados por expertos en publicaciones científicas (Prieto & Carracedo, 2013). No obstante, en muchas ramas de la criminalística que se consideran científicas, todavía se hacen afirmaciones categóricas al evaluar los resultados del análisis de las pruebas relacionadas con un delito (la evidencia). Los peritos tradicionales, basándose en su experiencia, se atreven a afirmar que una huella pertenece a un individuo específico o que una bala fue disparada por un arma sin ninguna duda (Prieto & Carracedo, 2013). Por otro lado, en el ámbito de la genética forense, la evaluación de los resultados del análisis de la evidencia se realiza desde una perspectiva probabilística. Esto convierte a la prueba de ADN en una de las más objetivas, ya que al introducir una probabilidad estamos midiendo la incertidumbre de las opiniones que expresamos. Esto no significa que la prueba de ADN sea insegura, sino que los genetistas son capaces de lograr una precisión tan alta que pueden valorar el nivel de incertidumbre que la prueba presenta (Prieto & Carracedo, 2013).

En el caso de los delitos sexuales, especialmente en agresiones sexuales y abusos a menores, las pruebas de ADN adquieren una gran importancia. Dado que, estas técnicas son fundamentales para identificar al autor de los hechos, y a menudo se convierten en la única prueba directa y fidedigna disponible aparte del testimonio de la víctima (Álvarez Buján, 2018).

En definitiva, la característica más importante que distingue el análisis de ADN de otras técnicas de identificación forense que no se basan en el ADN es que en el caso del ADN, podemos realizar cálculos basados en conocimientos genéticos consolidados y científicamente comprobados. No existe una teoría básica similar disponible para la mayoría de las técnicas forenses no genéticas (Carracedo et al., 2019).

3.8 LIMITACIONES DE LAS PRUEBAS GENÉTICAS

En lo que respecta a la valoración estadística de la prueba, se pueden encontrar ciertas imitaciones en aquellos casos en los que se deba considerar el análisis del ADN

mitocondrial o del cromosoma Y. al evaluar estas pruebas desde una perspectiva bayesiana, las cifras obtenidas son considerablemente más bajas que las obtenidas al evaluar el ADN nuclear autosómico (si el perfil genético es completo). Mientras que la valoración de perfiles genéticos autosómicos suele proporcionar razones de verosimilitud del orden de millones, la valoración de perfiles mitocondriales o de cromosoma Y suele ofrecer valores del orden de decenas, cientos o miles. Por lo tanto, en la mayoría de los casos, el valor de la evidencia mitocondrial o de cromosoma Y tiene menos peso que el valor de la evidencia del ADN nuclear autosómico (Prieto & Carracedo, 2013).

Además, el conocimiento actual sobre la variabilidad del ADN mitocondrial o del cromosoma Y (es decir, las frecuencias con las que aparecen los diferentes tipos de estos ADNs en la población) es limitado, lo que puede llevar a que algunos genetistas eviten realizar valoraciones estadísticas en este tipo de pruebas (Prieto & Carracedo, 2013). Sin embargo, esta falta de interpretación es motivo de preocupación, ya que puede dar lugar a una interpretación incorrecta de estas pruebas por parte del juez. Los juristas no están obligados a ser expertos en ADN, y si, por ejemplo, el perito solo incluye en su informe que el ADN mitocondrial de la muestra de la escena coincide con el del acusado, el juez puede creer que esta coincidencia tiene una gran importancia (que es muy identificativa), ya que al fin y al cabo es una prueba de ADN (Prieto & Carracedo, 2013).

Es sorprendente cómo el ADN ha adquirido una gran reputación en el ámbito forense. Sin embargo, es importante destacar que existen diferentes tipos de ADN, como el mitocondrial, que se encuentra en el 5% de los linajes maternos. De esta manera, es necesario que los juristas comprendan con claridad que hay múltiples tipos de ADN y que no todos ellos ofrecen el mismo poder de discriminación entre individuos. Por lo tanto, no todos pueden ser considerados de igual manera al evaluar las coincidencias entre muestras desconocidas (evidencia) y muestras de referencia (indubitadas) (Prieto & Carracedo, 2013).

Asimismo, Vargas (2010) hace referencia a los diferentes inconvenientes o fallas por las que puede verse afectado el análisis de ADN en el ámbito forense. Estas fallas pueden ser el resultado de una aplicación deficiente del método científico y también de problemas en la etapa previa al análisis en el laboratorio. Los riesgos principales se presentan en la fase de recogida, conservación y envío de las muestras al laboratorio, y pueden afectar el resultado final y la eficacia probatoria del análisis de ADN.

Uno de los inconvenientes más comunes es la contaminación de las muestras o vestigios. Esto puede ocurrir debido a la presencia de productos extraños de origen químico o bioquímico, así como de vestigios biológicos de otras personas (Vargas, 2010). La contaminación puede tener lugar antes de la comisión de los delitos que dieron lugar a los vestigios relacionados con el caso. También puede ocurrir una contaminación simultánea o paralela cuando se mezclan indicios de varias personas que estuvieron involucradas en los hechos delictivos. Aunque esto puede generar problemas técnicos, conocer esta información puede ser útil para la investigación y la explicación de la contaminación (Vargas, 2010).

Además, la contaminación puede ocurrir después de que los vestigios de interés hayan sido depositados, ya sea por confusión con otros restos biológicos debido a la exposición a fenómenos naturales o por la actuación negligente de las personas involucradas en la recogida o transporte de las muestras (Vargas, 2010). Incluso puede haber casos en los que se altere intencionalmente la evidencia con el objetivo de entorpecer la investigación. Por esta razón, los científicos enfatizan la importancia de mantener una cadena de custodia adecuada, registrando todas las personas que han tenido contacto con las muestras durante todo el proceso (Vargas, 2010).

Otro inconveniente se refiere a la calidad o cantidad de la muestra misma. Las muestras a analizar pueden ser muy pequeñas o contener una cantidad insuficiente de ADN (Vargas, 2010). También pueden estar degradadas debido a la antigüedad o a procesos de descomposición. En casos de putrefacción, el ADN de la sangre o los músculos también puede estar degradado, por lo que es necesario obtener muestras de tejidos más duros o resistentes. Además, en el caso de vestigios húmedos, el ambiente puede propiciar la proliferación bacteriana y fúngica, por lo que se requiere su conservación en frío o congelación (Vargas, 2010). Muchos de estos problemas pueden resolverse actualmente mediante la aplicación de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), que permite amplificar el ADN de un locus determinado un número infinito de veces.

3.9 TÉCNICAS INNOVADORAS Y MIRADA AL FUTURO

A pesar de que en la LO 10/2007 únicamente se contempla la utilización del ADN no codificante en materia de investigación penal, siempre ha quedado abierta la posibilidad de uso del ADN codificante en ciertas circunstancias.

En este sentido, determinar rasgos físicos de una persona sospechosa en el marco de una investigación penal, cuando no se dispone de otros medios o pistas para su identificación, puede ser una herramienta de gran utilidad (Álvarez Buján, 2018). Sin embargo, esto no implica necesariamente una violación del derecho a la intimidad genética. Los rasgos fenotípicos, como el color del cabello, los ojos o el origen étnico que se pueden determinar a partir del análisis del ADN codificante, se refieren al aspecto externo de la persona. De modo que, conocer esta información permitiría crear una imagen sobre un individuo, similar al retrato robot tradicional, solo que esta vez, con la ventaja de que el análisis de ADN no conlleva la subjetividad de un testigo presencial que describe al sospechoso, se trata de una metodología más fiable y exacta (Álvarez Buján, 2018).

Asimismo, Álvarez Buján (2018) señala la importancia de tener en cuenta ciertas salvaguardias para evitar posibles vulneraciones de derechos. Estas salvaguardias incluyen: (i) la emisión de una autorización judicial motivada, de acuerdo con el principio de proporcionalidad, (ii) la exclusión de la información sobre características físicas de las bases de datos policiales de identificadores obtenidos a partir del ADN; (iii) y el uso exclusivo de esta información para la identificación del presunto autor de los hechos investigados cuando no existen otras pistas o muestras fiables aparte de las biológicas encontradas en el lugar de los hechos o en el cuerpo de la víctima.

En definitiva, estas tácticas deberían utilizarse solo de manera subsidiaria, es decir, cuando no se disponga de otros datos, pistas o medios para identificar a la persona a la que pertenecen las muestras biológicas en cuestión. Sin duda, representarían un avance significativo en la lucha contra el crimen, tanto a nivel nacional como internacional, al permitir el progreso en la investigación de casos delicados que, de otra manera, quedarían sin posibilidad de ser esclarecidos (Álvarez Buján, 2018).

De hecho, actualmente, el uso del ADN codificante se encuentra regulado en las legislaciones de algunos países. Como es el caso de Países Bajos, donde los jueces tienen la facultad de ordenar el análisis de ADN para determinar las características externas de sospechosos o víctimas desconocidos. Sin embargo, en tales casos, el análisis de ADN solo puede tener como objetivo la identificación de características personales observables, como el sexo, la raza u otras características, según lo establecido por la ley (Vervaele et al, 2014).

Podemos concluir que, a través de la correcta regulación del uso del ADN codificante, y respetando los derechos fundamentales garantizados por la Constitución Española, se pueden romper ciertas barreras que limitaban la identificación de delincuentes. Así pues, las pruebas genéticas presentarían grandes avances en el futuro de la resolución de crímenes en general, y de la resolución crímenes sexuales en particular.

Otro aspecto innovador a tener en cuenta de cara al futuro de la secuenciación de ADN son los análisis multivariados. Tradicionalmente, la técnica utilizada para analizar las repeticiones cortas en tándem (STR) con fines de identificación humana ha sido la electroforesis capilar (EC). Aunque los métodos de EC siguen mejorando en términos de sensibilidad y capacidad para trabajar con ADN degradado o de baja calidad, todavía enfrentan desafíos (Promega, s.f).

La secuenciación de nueva generación (NGS, por sus siglas en inglés), también conocida como secuenciación masiva en paralelo (MPS, por sus siglas en inglés), permite analizar simultáneamente cientos de marcadores genéticos, una cantidad considerablemente mayor que las tecnologías de EC actuales. Además de proporcionar información sobre el tamaño de las regiones repetidas, como lo hace la EC, la MPS determina la secuencia de ADN subyacente de cada región. Al hacerlo, la MPS ofrece una solución a los principales desafíos que enfrentan los métodos de EC, como distinguir la variación alélica real de los artefactos de PCR, interpretar mezclas y obtener perfiles utilizables a partir de ADN degradado (Promega, s.f).

Aunque la adopción de los flujos de trabajo de MPS en los laboratorios forenses ha sido lenta, esta tecnología muestra un gran potencial para mejorar la precisión y el rendimiento de los análisis forenses de ADN. Se espera que los avances futuros en MPS, impulsen una adopción más generalizada, así como la validación de estos métodos (Promega, s.f).

PARTE II. ESTUDIO EMPÍRICO

4 OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Una vez hecha la revisión bibliográfica sobre los conceptos teóricos que van a ser utilizados en esta investigación, procedemos a concretar los objetivos de la misma. En este trabajo podemos definir dos objetivos principales:

El primer objetivo de este trabajo es investigar y analizar el estado actual de las pruebas genéticas en España, concretamente, en lo que respecta a la resolución de crímenes sexuales. Así pues, se buscará comprender cómo se utilizan estas pruebas en la identificación y persecución de delitos sexuales, analizando cada una de las fases que intervienen en este proceso (las cuales se han delimitado en el apartado 3).

El segundo objetivo se centra en la identificación y análisis de las posibles limitaciones que pueden surgir en el uso de la prueba de ADN en el proceso penal en general, pero también con un enfoque particular en los crímenes sexuales. A pesar de que se ha hablado de ciertas limitaciones en la fundamentación teórica, se considera que pueden darse otro tipo de problemas a este respecto, los cuales pueden tener relevancia desde la perspectiva empírica. En este sentido, planteamos una serie de hipótesis sobre limitaciones que pueden surgir basándonos en ciertas situaciones y/o circunstancias descritas en la Parte I del trabajo. Las hipótesis planteadas son las siguientes:

Fernández (2020) señala que, tradicionalmente, se creía que el plazo máximo para realizar la toma de muestras sobre el cuerpo de la víctima era de 48 h. Según este autor, actualmente se considera apropiado recolectar muestras en un período de hasta 72 horas después del acto lesivo. Tomando en consideración estos aspectos se ha elaborado la hipótesis 1. → H1: la recogida de muestras en el cuerpo de la víctima se deberá hacer máximo 72 horas después de la agresión, de lo contrario, esto provocará complicaciones significativas para hallar restos de ADN aprovechables.

Según lo dispuesto en el RD 769/1987, la policía judicial junto a la científica serán las encargadas de realizar la recogida de muestras durante la inspección ocular (la escena del crimen). Por su parte, según el Ministerio de Justicia (2021) la recogida de muestras sobre el cuerpo de la víctima, así como las muestras indubitadas del agresor, se llevarán a cabo por médicos forenses. A su vez, la policía cuenta con sus propios laboratorios de criminalística, desde los cuales, las unidades de policía científica se encargan del tratamiento de los indicios recogidos en la escena (Guardia Civil, s.f.; Policía Nacional, s.f). Al mismo tiempo, el laboratorio de referencia para la Administración de Justicia será el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses (Ministerio de justicia, sf). De modo que, gran parte de los análisis de muestras recogidas desde los institutos de Medicina Legal acaban derivando al INTCF. Así pues, teniendo en cuenta la involucración de tantos agentes distintos para un solo hecho delictivo, se ha planteado la hipótesis 2. → H2: La colaboración y coordinación entre diversas instituciones (policía

científica, médicos forenses, jueces, laboratorios) puede provocar complicaciones en la práctica, pudiendo darse malentendidos, falta de comunicación, y en consecuencia, un entorpecimiento del proceso penal.

En varias ocasiones se ha referido en la fundamentación teórica a todas las medidas que se deben llevar a cabo para evitar la contaminación o el deterioro de las muestras biológicas. Asimismo, en el propio apartado de limitaciones, Vargas (2010) ha hecho referencia a las numerosas formas por las que una muestra puede quedar afectada (contacto con productos químicos, transferencia accidental, proliferación de hongos...). Bajo este contexto, se ha planteado la hipótesis 3. → H3: La contaminación y el deterioro de las muestras biológicas suponen una limitación importante para las pruebas de ADN, ya que pueden comprometer la fiabilidad y precisión sus resultados.

Atendiendo al a información proporcionada por CNUFADN (2023), en España, únicamente existen 19 laboratorios acreditados para el uso forense del ADN. Suponiendo que dichos laboratorios se encontrasen equitativamente repartidos por todo el territorio, habría 1,12 laboratorios por Comunidad Autónoma. A partir de esta situación se ha desarrollado la hipótesis 4. → H4: La gran carga de trabajo sumada a la falta de recursos en el ámbito de las pruebas genéticas puede causar limitaciones como la ralentización del proceso. Esta hipótesis plantea que la falta de personal especializado y recursos adecuados en los laboratorios forenses y en el sistema de justicia penal puede ser una limitación importante en la realización de pruebas genéticas, incluyendo las pruebas de ADN, en casos de crímenes sexuales.

Asimismo, quisiera aportar una quinta hipótesis, la cual no va a poder refutarse o confirmarse debido al reciente surgimiento de la situación que me ha llevado a plantearla. La aprobación de la ley 10/2022 (ley del “solo sí es sí”) ha conllevado múltiples cambios en el tratamiento de las agresiones sexuales. Uno de ellos ha sido la acreditación del ginecólogo de urgencias para poder realizar la primera exploración física de la víctima, así como la recogida de muestras. Estas funciones le eran anteriormente atribuidas exclusivamente al médico forense, pero en la actualidad, también el ginecólogo podrá realizarlas en caso de urgencia. En este sentido, se me ocurre plantear lo siguiente → H5: La acreditación de los ginecólogos de urgencia para realizar la recogida de muestras a las víctimas puede provocar problemas debido a su falta de especialización y conocimiento al respecto. En definitiva, la puesta en práctica de esta nueva situación podría derivar en incertidumbre y conflictos que, intuyo, se trasladarán al colegio de

médicos para elucubrar una posible solución. No obstante, hasta que llegue ese momento, podrían darse numerosas complicaciones en la recogida de muestras por parte de estos profesionales que afectasen a diversos procedimientos por delincuencia sexual. Cabe aclarar que esta hipótesis se basa únicamente en mi percepción personal sobre una problemática que podría surgir en un futuro próximo.

5 METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Revisión bibliográfica

Para obtener una base sólida de conocimientos sobre los conceptos teóricos de investigación, así como de los conceptos histórico-contextuales, se realizó una revisión bibliográfica. De esta manera, se consultaron diversas fuentes académicas y científicas, como libros especializados, artículos científicos e informes técnicos. Para obtener bibliografía con respecto al uso de pruebas genéticas en crímenes sexuales se llevó a cabo una primera búsqueda en bases de datos académicas reconocidas, tales como: *PubMed*, *Scopus*, *Researchgate* y *WebofScience*. También, se utilizó el buscador Google Académico, así como el buscador de EHUBiblioteca, donde se encuentra el catálogo de libros y documentos ofertado desde la UPV/EHU a alumnos. Con respecto a esta primera búsqueda, se utilizaron una serie de palabras clave relacionadas con el tema, como "genética forense", "ADN", "crímenes sexuales", "pruebas genéticas", entre otros. Asimismo, se establecieron criterios de selección para incluir aquellos estudios y publicaciones que fueran relevantes, actuales y aportaran información significativa para la investigación. En cuanto a la obtención de Jurisprudencia y conceptos jurídicos sobre el uso de ADN en delitos sexuales, se consultaron bases de datos jurídicas como CENDOJ y Vlex. Finalmente, la información obtenida se analizó y sintetizó para desarrollar el marco teórico de este estudio.

5.2 Entrevistas

Por lo que respecta al desarrollo de la investigación y con el fin de contrastar la información recogida en la fundamentación teórica, se han llevado a cabo cuatro entrevistas semiestructuradas a distintos profesionales reconocidos en el ámbito de la medicina forense y la genética. Dichos perfiles se escogieron debido a que ambas disciplinas se encuentran estrechamente relacionadas con el uso de pruebas genéticas en el proceso penal. Por otra parte, también se realizó una visita *in situ* a un laboratorio genético en el Centro de Investigación Lascaray (Vitoria).

En cuanto a la forma en la que obtuvimos el contacto de las personas a entrevistar, cabe decir que el contacto de la 1ª persona entrevistada se consiguió a través de la coordinadora de este TFG, Isabel López Abadía. Con respecto a la 2ª persona entrevistada, esta ha formado parte del profesorado en el grado de criminología, y dado que tenía constancia sobre su perfil profesional y su trayectoria, me puse en contacto con él directamente. En lo que respecta a la 3ª y 4ª personas entrevistadas, me puse en contacto con ellas por recomendación de la 2ª persona entrevistada. Resulta pertinente aclarar que, tanto la primera como la tercera entrevista, se realizaron de forma online (mediante las aplicaciones *Meet* y *Webex* respectivamente), mientras que la segunda y cuarta entrevistas se realizaron de forma presencial. Cabe mencionar que a todos los participantes se les informó previamente de su derecho: (i) a abandonar la entrevista en cualquier momento, (ii) a no contestar a las preguntas, (iii) a que la entrevista no fuera grabada, (iv) a que la grabación de voz se detuviera en el momento en que lo pidiesen y, (v) a que la grabación (o una parte de ella) fuese eliminada, si así lo deseaban. Tras esto, se obtuvo el consentimiento informado de los participantes mediante el cual expresaron voluntariamente su intención de participar en la investigación, tras haber comprendido tanto la información que se les había ofrecido acerca de los objetivos de la misma, como sus derechos durante la entrevista. Los entrevistados fueron los siguientes:

- (i) Guillermo Portero Lazcano: Médico Forense y psicólogo clínico que ha contado con una larga trayectoria trabajando como jefe de los servicios clínicos del Instituto Vasco de Medicina Legal de Bizkaia. A lo largo de todo el análisis de resultados y la discusión nos referiremos a él como “doctor Portero”.
- (ii) Francisco Etxeberría Gabilondo (más conocido como Paco Etxeberría): es profesor titular de Medicina Legal y forense en la Universidad del País Vasco. Asimismo, ha ejercido como médico especialista en Medicina Legal y Forense durante muchos años, y es una figura representativa de la antropología forense en España. De modo que, para distinguirlo de los otros dos médicos forenses, nos referiremos a él como “antropólogo forense” en el apartado de análisis de resultados y discusión.
- (iii) Marian Martínez de Pancorbo: es Catedrática de Biología Celular de la Universidad del País Vasco UPV/EHU. Coordinadora del Centro de Investigación Lascaray (Vitoria) y directora del Grupo de Investigación

BIOMICs. Su área de especialización es la Genética aplicada a Poblaciones, Forense, Oncología, Neurobiología y Biología Celular. Nos referiremos a ella como “genetista” a lo largo del apartado de análisis de resultados y discusión.

- (iv) Iñaki Pradini Olazabal: Médico Forense y Psicólogo Clínico. Actualmente ejerce como director del Instituto de Medicina Legal y Forense de Pamplona. Nos referiremos a él como “doctor Pradini” a lo largo del apartado de análisis de resultados y discusión.

Estos expertos fueron seleccionados debido a su experiencia y a las contribuciones significativas que podían realizar al respecto de este campo de estudio. Por parte de los médicos forenses se puede obtener información de gran utilidad acerca de su implicación en la recogida de muestras para el análisis de ADN. En el caso de la genetista, nos puede ilustrar acerca de los procedimientos, herramientas y protocolos propios del laboratorio a la hora de realizar un análisis de ADN. Así pues, las entrevistas fueron diseñadas utilizando una guía semiestructurada que abordaba temas relacionados con las pruebas genéticas en crímenes sexuales, su aplicabilidad, ventajas, desafíos y avances recientes. Las entrevistas se registraron tanto en audio como en notas de campo. Posteriormente, se transcribieron y analizaron en busca de patrones, temas recurrentes y opiniones relevantes para la investigación.

5.3 Visita al laboratorio

Por último, a través de la entrevistada Marian M. de Pancorbo se pudo concertar una visita al laboratorio genético del grupo de investigación BIOMICs, situado en el Centro de Investigación Lascaray. Este laboratorio se dedica principalmente al ámbito de investigación en diversas materias de aplicación genética (incluida la forense), pero, en ocasiones, también colabora con la Administración de Justicia realizando tareas subsidiarias. La directora M. de Pancorbo en persona, me recibió y me guio por las instalaciones del laboratorio genético. De esta manera, durante la visita, se pudo observar actividades relacionadas con la extracción, amplificación y análisis de muestras de ADN. Asimismo, se pudo recopilar información relevante sobre las metodologías utilizadas, los equipos empleados y los controles de calidad implementados en el laboratorio. Además, solicité y se me concedió autorización para fotografiar aquellas herramientas y equipos de interés, así como para adjuntar las imágenes obtenidas posteriormente en el trabajo. Por supuesto, tuve cuidado de no fotografiar nada que implicase datos personales de nadie.

Así, se puede concluir que esta experiencia proporcionó una visión práctica de los procesos detrás de las pruebas genéticas y contribuyó al desarrollo de la investigación.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A lo largo de esta sección encontramos 9 apartados diferentes que engloban la temática que nos ocupa (pruebas genéticas en crímenes sexuales). En cada uno de estos apartados se procederá a exponer los resultados obtenidos a través de las entrevistas (fundamentación empírica) y, posteriormente, a cotejarlos con la información presentada en la fundamentación teórica. De esta manera, se persigue conocer en profundidad el estado actual y el funcionamiento de las pruebas genéticas en crímenes sexuales, además de verificar o refutar las hipótesis planteadas.

El objetivo de combinar el apartado de análisis de resultados y discusión en este TFG es optimizar la presentación de hallazgos, facilitando su comprensión global y evitando repeticiones. Asimismo, consideramos que aporta mejoras en la estructura y la organización del trabajo, resaltando las relaciones causales y las implicaciones de los resultados de manera más eficiente. A través de este enfoque integrado, se busca proporcionar una perspectiva más completa y sólida para abordar nuestro tema de investigación.

Cabe puntualizar que todas las tablas incluidas en esta sección son un mero acompañamiento visual que permite mostrar los datos de manera eficiente, a excepción de la tabla 12. La tabla 12 no solo es un acompañamiento visual, sino que, además se trata de una tabla comparativa, en la que se contrastan las diversas opiniones de cada uno de los entrevistados, acerca de los temas planteados en las hipótesis de este trabajo.

6.1 CADENA DE CUSTODIA

A continuación, se analizarán las respuestas proporcionadas por los diferentes entrevistados cuando se les preguntó sobre la importancia de la cadena de custodia fueron las siguientes (Tabla 5):

Tabla 5:

Análisis de resultados sobre la cadena de custodia.

CADENA DE CUSTODIA	
Entrevistados	Aportaciones
Doctor Portero (M.F.) Doctor Pradini (M.F.) Antropólogo Forense Genetista	Es esencial para garantizar el correcto procesamiento de las muertas y la efectividad de la prueba en el proceso penal.
Doctor Portero (M.F.)	La cadena de custodia debe estar bien sistematizada y protocolizada.
Antropólogo Forense Genetista	Resalta la importancia de la trazabilidad de las muestras
Antropólogo Forense	Fotografiar todas las etapas del proceso para sumar fiabilidad.
Genetista	Asignación de un código de identificación a las muestras así como registrar y custodiar correctamente los resultados de las pruebas de ADN.
Doctor Portero (M.F.) Doctor Pradini (M.F.)	Breve descripción de lo que implica la cadena de custodia.

Cuando se les ha preguntado a los entrevistados sobre la importancia de la cadena de custodia, todos ellos han destacado su esencialidad para garantizar el correcto procesamiento de las muestras, y por ende la efectividad de la prueba en el proceso penal. De esta manera, cada uno ha aportado algunas ideas sobre el funcionamiento de la cadena de custodia.

El doctor Portero hizo hincapié en la necesidad de que la cadena de custodia esté bien sistematizada y protocolizada para evitar problemas en el proceso. Así, alude a la utilización de medidas como sobres sellados, lacrados o con pegatinas que no se puedan despegar para garantizar que nadie ha manipulado las muestras. Él enfatiza que es imposible tener una cadena de custodia si los sobres están abiertos o no hay medidas de prevención. Esto concuerda con lo relatado por Aldana (2018) y López Valera (2018),

que apuntan a que para garantizar la “mismidad” de la prueba, la cadena de custodia se debe llevar a cabo de manera ordenada y sistemática, de lo contrario podría declararse la nulidad de la prueba en el proceso penal. A este mismo respecto, Magalhaes et al (2015) y el Ministerio de Justicia (2021) indican que todos los envases deben estar sellados y etiquetados con la fecha y hora de la toma de muestra.

El antropólogo forense destacó la importancia de garantizar la trazabilidad de las muestras y de implementar documentos específicos de cadena de custodia, así como fotografías para documentar todas las etapas del proceso. En lo que respecta a la trazabilidad, este señala que debería registrarse hasta el movimiento que sucede dentro del propio laboratorio forense (p.e, cuando se traslada una muestra de un lugar a otro) para tener constancia de todos los pasos que se han seguido y facilitar el control y protección de lo custodiado.

Por su parte, también la genetista subrayó la necesidad de verificar la idoneidad de la cadena de custodia mediante la trazabilidad, asignando un código único a cada muestra y manteniendo registros precisos durante todo el proceso para evitar errores y garantizar la integridad de las muestras. Asimismo, resalta la importancia de registrar y comunicar correctamente, a través de documentos, la información sobre los resultados de las pruebas para evitar confusiones o solicitudes innecesarias de nuevos análisis de ADN.

En este sentido, López Valera (2018) define una serie de funciones y garantías que debe cumplir la cadena de custodia, dos de las cuales coinciden con lo aportado por el antropólogo forense y la genetista. Por un lado, la trazabilidad de evidencias, que consiste en el seguimiento continuo de los objetos y muestras custodiadas, registrando todas las actividades realizadas por cada persona que ha estado en contacto con los mismos. Y, por otro lado, la acreditación documental, que consiste en documentar todas las operaciones realizadas y las personas que han intervenido en el procedimiento.

Además, la realización de fotografías que ha comentado el Antropólogo Forense, se prevé por Fernández de Simón & Alonso (2014), como uno de los tipos de documentación complementaria que debe incluir la documentación de recogida de muestras. Y, en lo que respecta a la aportación de la genetista sobre la asignación de códigos a las muestras, tanto Magalhaes et al (2015) como el Ministerio de Justicia (2021) señalan que en el envase de las muestras debe indicarse el tipo e muestra, el sujeto de procedencia y el número de seguimiento. Asimismo, en lo que respecta al laboratorio la

normativa del GHEP-ISFG (2001) también indica que cada muestra debe ser marcada de manera individual y contar con una identificación clara y única.

Asimismo, tanto el doctor Portero como el doctor Pradini, proporcionan una breve descripción de lo que para ellos implica la cadena de custodia. Ambos señalan que los médicos forenses entregan las muestras que se remitirán a los laboratorios firmando un documento (de cadena de custodia) en el que consta toda la información pertinente de las muestras recogidas. De esta manera cuando los técnicos del laboratorio reciben las muestras, estos rellenan otro documento en el que contabilizan y describen todo lo que les ha llegado y comprueban si coincide con lo indicado en el documento anterior.

A este respecto, Aler Gay et al. (2000) ratifican los procedimientos mencionados por ambos médicos forenses, los cuales se realizan con el fin de cumplir con la normativa de recepción de muestras por parte del laboratorio.

En definitiva, al igual que la bibliografía estudiada, todos los entrevistados reconocen la importancia de seguir protocolos y medidas específicas durante todas las fases de manipulación de las muestras. Así, se puede garantizar la integridad de las muestras y su admisión como prueba en un proceso penal, evitando manipulaciones, contaminación o extravíos.

6.2 RECOGIDA DE MUESTRAS

Con respecto a la pregunta: ¿Cómo es la recogida de muestras en el cuerpo de la víctima? Las variables de respuesta fueron las siguientes (Tabla 6.a y 6.b):

- (i) A: Relata el procedimiento de recogida de muestras en el caso de la víctima.
- (ii) B: Destaca la importancia de una entrevista a la víctima previa al reconocimiento.
- (iii) C: Destaca la mejora que se ha dado en los procedimientos de reconocimiento de mujeres.

En lo que se refiere a la pregunta ¿Cómo es la recogida de muestras en el cuerpo del agresor? Se han identificado las siguientes variables de respuesta (Tabla 6.a y 6.b):

- (i) D: La recogida se lleva a cabo normalmente por los forenses.
- (ii) E: Descripción y procedimiento de recogida de muestras en agresores.
- (iii) F: En delitos graves se puede utilizar la coacción para tomar muestras.

En referencia a la pregunta ¿Cómo es la recogida de muestras en la escena? Se han identificado las siguientes variables de respuesta (Tabla 6 .a y 6.b):

- (i) G: Menciona la intervención de la policía científica para realizarla.
- (ii) H: Destaca la importancia de la inspección ocular en la investigación.

En cuanto a la pregunta ¿Cómo se garantiza la preservación e integridad de las muestras? Las variables de respuesta fueron las siguientes (Tabla 6.a y 6.b):

- (i) I: Destaca pautas a seguir en el momento de recogida de muestras
- (ii) J: Insiste en la correcta identificación de las muestras así como en su correcta conservación.

Tabla 6.a:

Análisis de resultados sobre la recogida de muestras.

	ENTREVISTADOS			
RECOGIDA DE MUESTRAS	Doctor Portero (M.F)	Doctor Pradini (M.F)	Antropólogo Forense	Genetista
Cuerpo víctima	A + B	A	A + C	A
Indubitadas agresor	D + E + F	E + F	E	E
Escena del crimen	G	G	G	H
Preservación e integridad de la muestra	I	I	I	J

Tabla 6.b:

Análisis de resultados sobre la recogida de muestras.

	Doctor Portero (M.F)	Doctor Pradini (M.F)	Antropólogo Forense	Genetista
Ejemplificaciones	<p>B: “Una de las cosas que aprendimos es la importancia de entrevistar a la víctima”.</p> <p>D: “En el caso del agresor, como persona, generalmente, también somos nosotros los que nos encargamos de la recogida de muestras”.</p>	<p>A: “primero se hace una toma externa, luego en la zona medio vaginal...”.</p> <p>F: “En ocasiones a nosotros el juez nos puede ordenar que se le haga a la fuerza la recogida de muestras”.</p>	<p>C: “Antes el reconocimiento de la víctima se hacía hasta 3 veces, eso ha mejorado mucho porque ahora solo se hace 1”.</p> <p>G: “la escena también las policías tienen sus propios protocolos.”.</p> <p>I: “se suele recomendar para evitar la contaminación que el cambio de guantes sea constante.”</p>	<p>E: “En los casos de crímenes sexuales, normalmente lo que tienes es: (...) los hisopos indubitados del agresor”.</p> <p>H: “hay una parte muy importante en estos casos que es lo que hace la inspección ocular.”</p> <p>J: “Las muestras biológicas se almacenan a menos 20 grados”,</p>

6.2.1 Recogida de muestras del cuerpo de la víctima

El doctor Portero, menciona además de la necesidad del consentimiento de la víctima antes de realizar cualquier reconocimiento, resalta la importancia de conocer bien los hechos, para realizar posteriormente un examen óptimo de la víctima adaptado a cada caso. Además, es necesario entrevistar a la víctima con el objetivo de recabar información relevante sobre posibles relaciones previas a la agresión que pudieran afectar a los perfiles genéticos encontrados en una investigación.

En consonancia con el doctor Portero, el Ministerio de Justicia (2021) contempla en el protocolo de atención a víctimas de violencia sexual la necesidad de consentimiento para el examen de la víctima y la divulgación de información a través del informe pericial. Asimismo, contempla la esencialidad de la entrevista forense realizada a la víctima, dado

que a través de esta se consigue información relevante que orientará la recogida de muestras.

En lo que respecta a la recogida de muestras per se, el protocolo seguido por el doctor Portero incluye la inspección de la ropa en busca de manchas o raspaduras, el uso de hisopos en áreas donde se hayan mencionado posibles contactos o besos, y la toma de muestras en zonas donde se haya referido penetración (anal, bucal o vaginal), así como la utilización de suero fisiológico para realizar lavados vaginales, anales o bucales para extraer los restos epiteliales y espermáticos del agresor. También se recogen muestras de las uñas si se ha producido algún tipo de defensa. En el caso del antropólogo forense, la genetista y el doctor Pradini todos mencionan formas similares de realizar este tipo de procedimiento a las que ha descrito el doctor Portero. Añade el doctor Pradini que deberá recogerse una muestra indubitada de la víctima, que se hará con un hisopo mediante frotis bucal, ya que se deberá descartar su perfil genético en caso de que se encuentre mezclado con el del agresor. Asimismo, señala que, si se ha mantenido una relación sexual oral, deberá esperar 2-3 días para cogerle la muestra indubitada porque si no hay posibilidades de que permanezcan restos del agresor.

Por su parte, las indicaciones realizadas por el Ministerio de Justicia (2021) en relación con los protocolos de recogida de muestras sobre el cuerpo de la víctima coinciden con las aportadas por los entrevistados. En lo que respecta a lo mencionado por parte del doctor Pradini sobre los casos en los que se haya mantenido una relación sexual oral, varios autores también sugieren la utilización de la sangre venosa como muestra indubitada (Fernández de Simón & Alonso, 2014; Ministerio de Justicia 2021; Aler Gay et al., 2015).

En su caso, el antropólogo forense destaca la mejora en los procedimientos de reconocimiento para las mujeres que denuncian agresiones sexuales. Se ha implementado un sistema que evita que las víctimas tengan que pasar por múltiples reconocimientos en diferentes lugares, lo cual resultaba humillante. Ahora se realiza un solo reconocimiento en condiciones óptimas en un servicio de urgencias ginecológicas, con la presencia de un ginecólogo y un médico forense. Además, se destaca el mayor apoyo y amparo que se brinda a las víctimas en la actualidad, incluso antes de que se haya demostrado judicialmente el delito. Por último, el antropólogo forense enfatiza la importancia de brindar atención y asistencia inmediata a las víctimas, y se menciona la existencia de protocolos médicos y organizaciones de apoyo a lo largo del proceso.

Estas aportaciones coinciden plenamente con lo expuesto por el Ministerio de Justicia (2021) acerca de brindar los cuidados pertinentes a la víctima, evitando repeticiones de exámenes innecesarios y realizando la toma de muestras en un entorno seguro, donde se les preste atención y apoyo a las víctimas.

En resumen, tanto la bibliografía como los entrevistados aluden a la importancia de realizar un examen forense riguroso sobre el cuerpo de la víctima, que esté adaptado a las circunstancias y necesidades de cada caso.

6.2.2 Recogida de muestras del cuerpo del agresor

Con respecto a la recogida de muestras extraídas del cuerpo del agresor el doctor Pradini señala que generalmente esta recogida se lleva a cabo por los forenses, aunque la policía puede estar capacitada para hacerla. Por su parte, en la bibliografía no se nombra nada al respecto, pero se puede corroborar lo dicho por el doctor Pradini, teniendo en cuenta que la LECrim en su artículo 326 señala que el JI ordenará a la Policía Judicial o al médico forense que tome las medidas necesarias para garantizar la autenticidad de la recogida. Es posible que, llevado a la práctica, sean los médicos forenses quienes desempeñen esa función en la mayoría de las ocasiones y por ello, el doctor Pradini ha argumentado eso atendiendo a su experiencia personal.

En cuanto al procedimiento de recogida, todos los entrevistados mencionan que se toman hisopos de la cavidad bucal del agresor, ya que es una prueba razonable y proporcional en comparación con otros métodos más invasivos (como la extracción de sangre). Por su parte, Fernández de Simón & Alonso (2014) contemplan ambos tipos de recogida de muestras indubitadas como válidos. Además, añaden que, aunque sea la muestra indubitada menos frecuente, también se pueden incluir de 10 a 15 cabellos que hayan sido arrancados con su raíz intacta.

Por otra parte, aporta el doctor Pradini, que se dan casos en los que cabe la posibilidad de transmisión a la víctima de una ETS o ITS. De modo que, si se encuentra en el agresor la misma enfermedad o infección que en la víctima, se debe tratar como un indicio más. Este factor también lo contempla el Ministerio de Justicia (2021) y contempla en su protocolo de actuación para víctimas de agresión sexual, las herramientas pertinentes para detectar una ETS o ITS en el cuerpo de la víctima.

Los dos médicos forenses añaden al respecto que, en delitos graves como la agresión sexual, el juez puede ordenar que se le haga la recogida de muestras a la fuerza

si se niega. Tal y como se ha expuesto en la bibliografía, esta situación se contempla en el artículo 129 CP, permitiéndose el uso de la coacción para extraer muestras biológicas en casos concretos, como el de la agresión sexual (un delito grave).

A modo de conclusión cabe resaltar que tanto los entrevistados como la bibliografía aportan diferentes aspectos sobre cómo se realiza una recogida de muestras indubitada en el cuerpo del sospechoso, pudiendo esta ser voluntaria (consentimiento informado) y a veces involuntaria mediante orden judicial en delitos graves.

6.2.3 Recogida de muestras en la escena

Con respecto a la recogida de muestras extraídas de la escena, los dos médicos forenses y el antropólogo forense mencionan que, mientras en el caso de las personas involucradas (víctima y agresor), los forenses son responsables de la recogida de muestras, en lo que respecta a la escena del crimen, generalmente es la policía la encargada de recoger las evidencias que luego se transmiten a los laboratorios forenses y de la policía científica para su análisis y cotejo de perfiles. Y, efectivamente así lo regula el Real Decreto 769/1987 aludiendo a la Policía Científica como única entidad que se encarga de recoger muestras en las inspecciones oculares.

La genetista añade a esta información, que la inspección ocular realizada por la policía judicial es de vital importancia en el proceso de recogida de muestras, dado que se encarga de recopilar todo tipo de objetos que puedan contener restos biológicos (sábanas, ropa, cojines, etc...). Así mismo lo contempla el GHEP-ISFG (2001) señalando que se pueden encontrar muestras completas o manchas de indicios húmedos en objetos tales como: la ropa de cama, toallas, tapicerías de automóviles...

En definitiva, de este apartado podemos concluir que la policía científica es la encargada de la recogida de muestras en la escena del delito y que, esta recogida es de vital importancia para conseguir muestras dubitadas de ADN.

6.2.4 Preservación e integridad de la muestra

En cuanto a la preservación e integridad de las muestras tanto los dos médicos forenses como el antropólogo forense, destacan la importancia de ser escrupulosos en el manejo de las muestras, utilizando vestimenta estéril, mascarilla y cambiando constantemente de guantes para evitar la contaminación de las muestras.

Estas mismas medidas, entre otras, vienen recogidas por muchos autores (Magalhaes et al., 2015; López Valera, 2016; Aler Gay et al., 2000; Ministerio de Justicia, 2021; Fernández de Simón & Alonso, 2014), que, en la bibliografía, resaltan algunas precauciones básicas para evitar o minimizar la contaminación o el deterioro de las muestras. Por su parte, el antropólogo forense y el doctor Pradini destacan como medida de seguridad, el registro del tipaje de ADN de todos los que trabajan en la manipulación de las muestras para, en el caso de que haya habido una contaminación poder individualizar la muestra de interés del trabajador. A este respecto, en la bibliografía no se menciona que se deba registrar el ADN de aquellos que trabajan recogiendo las muestras. No obstante, sí que se menciona la implementación de esta medida sobre los trabajadores del laboratorio donde se analizan las muestras (Pifarré, 2022). Esto no quita, que quizás, en la práctica, también estén registrados los perfiles genéticos de los profesionales encargados de recoger las muestras, tal y como indican los entrevistados. De hecho, bajo mi punto de vista sería lo más lógico, ya que ello permitiría tener un control sobre el ADN que se ha podido transferir a las muestras de manera accidental en cada uno de los procesos.

Asimismo, el antropólogo forense reitera la utilización de fotografías para documentar cada paso, como un método efectivo para garantizar el proceso. Esto se ratifica por las normas de recepción de muestras en el laboratorio aportadas por Aler Gay et al. (2000), en las cuales se contempla fotografiar las muestras para registrar su estado de conservación.

La genetista aporta que la toma de muestras y su correcta identificación es un factor crucial que puede afectar los resultados de los análisis de ADN. Depende de los profesionales encargados de la recogida de muestras, que estas lleguen al laboratorio mal identificadas o confundidas, lo que puede generar problemas que el laboratorio no puede solucionar. Es por ello que tanto Magalhaes et al. (2015), como el Ministerio de Justicia (2021) señalan que el etiquetado, embalaje y almacenamiento adecuado de las pruebas son fundamentales para evitar posibles pérdidas y confusiones.

A estos efectos, la genetista señala que, después de realizar los análisis de ADN, es importante documentar y registrar adecuadamente tanto las muestras de ADN como los resultados obtenidos. Se debe indicar en el informe si quedan restos de ADN o no, y cómo se almacenan las muestras y los resultados. En algunos casos, cuando los resultados no son concluyentes o se requieren análisis adicionales, las muestras y las evidencias

deben almacenarse adecuadamente para futuros estudios. El laboratorio debe mantener las muestras biológicas a temperaturas adecuadas, generalmente alrededor de -20 grados Celsius. En consonancia con lo aportado por la genetista, el GHEP-ISFG (2001) establece que, siempre que se pueda, se conservará una porción adecuadamente documentada de la muestra. Así como la obligación del laboratorio de contar con un área adecuada para el almacenamiento de muestras.

En conclusión, tanto la fundamentación teórica como la fundamentación empírica argumentan que, para garantizar la preservación y la integridad de las muestras, se deben tomar medidas de precaución, para evitar la contaminación y medidas específicas para garantizar la conservación. Dichas medidas se tomarán por parte de todos los agentes implicados en el manejo de muestras (médicos forenses, policía, laboratorios...)

6.3 ANÁLISIS DE ADN

El análisis de ADN es una cuestión que compete exclusivamente a los genetistas de laboratorio, ya que son los únicos autorizados y capacitados para manejar y ejecutar las herramientas que permiten dicho análisis. Por tal motivo, la única persona entrevistada a la que se le han formulado las preguntas de este apartado ha sido la genetista Marian Martínez de Pancorbo, siendo el único perfil profesional de genetista entre los entrevistados. Así pues, se le han planteado las siguientes cuestiones: (i) ¿Qué tipos de muestra se analizan en el laboratorio? (ii) ¿Qué medidas se toman para evitar la contaminación en los laboratorios?; (iii) ¿Cuáles son las fases del análisis de ADN?; (iv) ¿Qué tipos de análisis genéticos se realizan?

6.3.1 Tipos de muestras analizadas en el laboratorio

En lo que a la genetista respecta, en los casos de crímenes sexuales, se suelen analizar diversas muestras biológicas en el laboratorio. Por un lado, el semen es una muestra biológica rica en ADN debido a su alta cantidad de células. Incluso en casos de individuos azoospermicos (que no tienen espermatozoides), se puede obtener ADN del líquido seminal, ya que arrastra células epiteliales durante su paso por los conductos deferentes del varón. Complementando esta información, Prieto (2004) y Carracedo et al. (2019) señalan que lo mismo sucede con los individuos vasectomizados. La presencia de saliva también es importante cuando no se encuentran restos seminales. Así como la importancia de mirar debajo de las uñas, ya no solo en agresiones sexuales, sino en cualquier agresión. Dado que, es posible que hayan quedado restos biológicos del agresor,

fruto del forcejeo o el contacto. Al igual que si se encuentra ropa del agresor es muy importante mirar por si han quedado restos epiteliales. Los cuales se suelen encontrar en los bordes de la ropa o las zonas de rozamiento de la ropa con el cuerpo (por ejemplo, en el cuello).

Todas las muestras mencionadas por la entrevistada son según Fernández (2020), los principales indicios biológicos de interés criminal. De modo que, según la literatura y la información empírica, podemos concluir que las principales muestras extraídas de un crimen sexual son: el semen, la saliva, y las células epiteliales extraídas de la ropa o de las uñas de la víctima en caso de que haya habido forcejeo.

6.3.2 Protocolos de actuación para evitar la contaminación en los laboratorios

La genetista argumenta que, debido a la sensibilidad de las muestras de ADN, incluso pequeñas cantidades de ADN contaminante pueden afectar los resultados de los análisis. Por lo tanto, es crucial mantener un ambiente de laboratorio adecuado y realizar controles rigurosos para prevenir la contaminación. Así algunas de las medidas que el laboratorio implementa son las siguientes: realizar análisis genéticos de todas las personas del laboratorio, visitantes, personal de limpieza y técnicos que ingresan al laboratorio. También se realizan controles regulares en los laboratorios para detectar cualquier presencia de perfiles genéticos y evitar la contaminación. En este sentido el GHEP-ISFG (2001) recomienda desarrollar sistemas de monitoreo de la contaminación y establecer procedimientos efectivos de descontaminación en caso de que se detecte alguna.

Asimismo, Pifarré (2022) ratifica lo mencionado por la entrevistada sobre el registro de perfiles genéticos de todo el personal, y refiere que este es conocido como “fichero staff”.

Los laboratorios especializados en el análisis de muestras de ADN suelen tener disposiciones especiales, como el flujo de aire en avance y presión positiva, para evitar la contaminación cruzada. Estas medidas ayudan a mantener separados los diferentes laboratorios y controlar la dirección del flujo de aire para evitar la entrada de aire contaminado. En este sentido, el GHEP-ISFG (2001) con el fin de minimizar el problema de la contaminación, es necesario que el laboratorio cuente con una estructura organizativa que asegure una estricta separación física entre el área de Pre-PCR (examen preliminar de evidencias, extracción de ADN y preparación de PCR) y el área de Post-PCR (manejo, análisis y almacenamiento de los productos de PCR).

En resumen, el contenido bibliográfico y la información aportada por la entrevistada en lo que respecta a los protocolos de actuación dentro del laboratorio, se complementan y nos muestran la complejidad que conlleva preservar la integridad de una sustancia tan sensible como el ADN.

6.3.3 Fases de análisis de ADN

La genetista nos introduce que los marcadores son regiones del genoma que presentan variaciones en las bases de ADN. Por ejemplo, en una posición del genoma, algunos individuos pueden tener una base de ADN, mientras que otros pueden tener otra. Los marcadores son variables y pueden ser de diferentes tipos. Cada individuo tiene un conjunto específico de marcadores, lo que permite la comparación entre individuos. En el análisis de ADN forense, se estudian múltiples marcadores y cuanto mayor sea la cantidad de marcadores estudiados, más difícil será que coincidan todos los marcadores en dos individuos, lo que aumenta la precisión de la comparación.

En cuanto a las fases de análisis la genetista refiere que, primeramente, se lleva a cabo el diagnóstico genérico para identificar diferentes sustancias presentes en las manchas, como saliva, sangre, sudor o semen. Se busca exhaustivamente restos epiteliales en todas las prendas con el objetivo de encontrarlos. A veces, estos restos pueden ser visibles en forma de manchas, por lo que se debe determinar de qué sustancia se trata, pero también pueden ser invisibles, como en el caso de la saliva o el semen, cuando se encuentra sobre tejido blanco. Existen métodos para detectar masivamente dónde se encuentra la saliva o el semen, como utilización de luz ultravioleta (también conocida como luz forense), o en el laboratorio que se utilizan mesas grandes donde se extiende la muestra y se realiza el análisis, recortando trozos o piezas de las partes relevantes del objeto de análisis. En definitiva, los laboratorios forenses han desarrollado métodos para analizar este tipo de vestigios biológicos.

En segundo lugar, la entrevistada señala que se realizan técnicas de extracción del ADN. La extracción de ADN es una parte fundamental del proceso de análisis y se utilizan diferentes técnicas según la naturaleza de la evidencia o del vestigio. Los laboratorios especializados en análisis de ADN aplican distintas técnicas de extracción dependiendo de si se trata de muestras de hueso, sangre, fluidos u otros tipos de evidencia. La genetista nos indica que, en casos de agresiones sexuales donde se encuentran mezclados el ADN de la víctima y del agresor, se utiliza una técnica llamada lisis diferencial para extraer el perfil de ADN del agresor. Esta técnica consiste en romper de

forma suave las células, priorizando la ruptura de las células epiteliales de la víctima, que son menos robustas que las células espermáticas del agresor. Luego se procede a limpiar y lavar las células rotas de la víctima, quedándose únicamente con las células espermáticas intactas del agresor para obtener su perfil de ADN. Esta misma técnica es expuesta por Pifarré (2022) en la fundamentación teórica.

Asimismo, la entrevistada aclara que, si se cuenta con un preservativo, no es necesario utilizar esta técnica, ya que las células espermáticas se encuentran en el interior del preservativo y no están mezcladas con las células de la víctima, ubicadas en el exterior del preservativo. De igual manera lo aclara Fernández (2020) cuando explica cómo debe realizarse el análisis de preservativos.

En tercer lugar, la entrevistada alude a la cuantificación del ADN para saber cómo operar con la muestra dependiendo de la disponibilidad. En cuarto lugar, explica que se realiza una amplificación de la región del genoma que nos interesa mediante la técnica PCR. Y, por último, una vez completada esta fase se pasaría a realizar un análisis de los marcadores amplificados, para obtener los diferentes alelos y variantes genéticas que componen el perfil genético de un individuo.

Villalobos (2017) ha detallado cada una de las fases explicadas por la genetista en la fundamentación teórica. A este respecto, cabe mencionar que la entrevistada no realiza nuevas aportaciones, lo cual puede atribuirse a que las técnicas y procedimientos están completamente estandarizados y se realizan de manera similar en todos los laboratorios. De hecho, anteriormente se ha mencionado que a partir del año 2012 se comenzaron a desarrollar kits de marcadores, cuyo objetivo fue estandarizar los marcadores analizados a nivel mundial. Permitiendo así, hacer comparaciones entre laboratorios de diferentes países que antes podían estar utilizando marcadores STR diferentes o con poca similitud (Hombreiro, 2013). De manera que, resulta comprensible que no existan diferencias entre el relato de la genetista profesional y el contenido bibliográfico.

6.3.4 Tipos de análisis de ADN

La entrevistada refiere que los métodos de análisis más utilizados se basan en marcadores genéticos presentes en todo el genoma nuclear (análisis autosómicos), excepto en los cromosomas sexuales X e Y. Dado que estos análisis son los más completos y fiables.

Por otro lado, la genetista destaca la realización de análisis del ADN mitocondrial como una alternativa en caso de que las muestras de ADN encontradas estén degradadas o no contengan células de ADN nuclear (como en el caso de los pelos sin bulbo) ya que por cada célula de ADN nuclear hay miles de copias de ADNmt. De esta misma manera, los autores (Prieto, 2004; Carracedo et al., 2019) señalan que analizar los polimorfismos en el ADNmt puede ser de utilidad en los casos mencionados por la autora.

Asimismo, la entrevistada resalta la utilización de análisis del cromosoma Y en casos de agresiones sexuales, para individualizar el perfil del agresor del perfil de la víctima cuando el ADN de ambos se encuentre mezclado en la muestra, así como para distinguir y cuantificar el número de agresores que han podido intervenir en una agresión múltiple. No obstante, La genetista advierte que estos dos últimos análisis deben realizarse de manera complementaria y subsidiaria al primero. De nuevo, los autores (Prieto, 2004; Carracedo et al., 2019) señalan que, en este caso, analizar los polimorfismos en el cromosoma Y, puede ser de utilidad en las circunstancias mencionadas por la autora. Además, exponen que cuando el agresor es un individuo azoospermico se puede realizar este tipo de análisis, ya que el ADN nuclear encontrado en el líquido seminal será bastante escaso en comparación con un individuo sin esa condición.

En definitiva, se debe analizar el ADN autosómico siempre que se pueda, debido a que es el único capaz de individualizar un perfil. Mientras que en el caso del ADNmt y el ADN del cromosoma Y, muestran perfiles genéticos de linajes maternos y paternos, respectivamente. Por su parte, Prieto (2004) de acuerdo con lo declarado por la entrevistada, también señala que, siempre que sea posible se debe realizar el análisis de polimorfismos del ADN nuclear, ya que estos proporcionan la mayor cantidad de información sobre la identidad de la muestra.

6.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBAS GENÉTICAS

Con respecto al apartado de análisis e interpretación de resultados de las pruebas genéticas, a los entrevistados se les hicieron las siguientes preguntas:

En cuanto a la pregunta ¿Qué resultados se pueden obtener del análisis de ADN?, las variables de respuesta son las siguientes (Tabla 7):

- (i) A: Explicación e interpretación de resultados negativos o positivos de las pruebas.

- (ii) B: Resalta exactitud y precisión de los resultados.
- (iii) C: Resalta la importancia de los cálculos probabilísticos-
- (iv) D: Señala la importancia de interpretación de los resultados objetivos desde la labor del perito forense.

Con respecto a la pregunta ¿Cómo se utilizan las bases de datos de ADN? Se han identificado las siguientes variables de respuesta (Tabla 7):

- (i) E: Habla sobre la utilidad de las bases de datos cuando no hay sospechosos.
- (ii) F: Aclara qué tipo de perfiles se suben a las bases de datos.

Tabla 7:

Análisis de resultados sobre la interpretación de resultados de pruebas genéticas.

ENTREVISTADOS				
INTERPRETACIÓN RESULTADOS	Doctor Portero (M.F)	Doctor Pradini (M.F)	Antropólogo Forense	Genetista
Posibles resultados	A	B	D	C
Uso base de datos	E	E	E	F
Ejemplificaciones	<p>A: “en el caso de que sea positivo, establece una razón de verosimilitud, que es la probabilidad de que esa muestra corresponda a un individuo”.</p> <p>E: “se podría utilizar ese perfil, mantenerlo en la base de datos y esperar a que en un futuro pueda haber una coincidencia”.</p>	<p>B: “Se ha ajustado mucho también en la probabilidad de descartar y de la precisión</p>	<p>D: “Lo forense suele ser hacer la deducción, la inferencia que se llama, de ese dato objetivo”.</p>	<p>C: “El cálculo de probabilidades es fundamental en la genética forense”.</p> <p>F: “El perfil que se sube es el autosómico. No se sube el mitocondrial, ni el cromosoma Y.”</p>

6.4.1 Qué resultados se pueden obtener del análisis de ADN

El doctor Portero señala que los resultados de las pruebas de ADN pueden ser positivos o negativos. Un resultado positivo indica que se ha encontrado información genética de una persona en una muestra y se puede establecer una relación entre esa persona y la muestra. Por otro lado, un resultado negativo indica que no se ha encontrado información genética de una persona en una muestra y no se puede establecer una relación entre esa persona y la muestra. Añade, que los resultados de las pruebas de ADN no son determinantes por sí solos, sino que deben ser interpretados y analizados en el contexto de la investigación y el juicio oral. Estos resultados pueden ser utilizados tanto para atribuir el delito a una persona como para descartar su participación en el mismo. En este sentido, varios autores coinciden con lo aportado por este entrevistado (Prieto, 2004; Prieto & Carracedo, 2013; Carracedo et al., 2019; Pifarré, 2022). Dichos autores argumentan que es importante destacar que una coincidencia entre perfil dubitado e indubitado se trata de una coincidencia entre muestras, no de una coincidencia con una persona específica.

El doctor Portero termina diciendo que, en caso de obtener un resultado positivo, el técnico elabora un informe que establece un ratio o coeficiente de verosimilitud, que es la probabilidad de que la muestra corresponda a un individuo en particular. De la misma forma, la genetista alude a la importancia del cálculo probabilístico y estadístico en el contexto de la genética forense, siendo este uno de los requisitos fundamentales para que la prueba sea válida en el juicio oral. Ambos entrevistados destacan la realización de cálculos de probabilidad como una fase más de la interpretación de los resultados. En consonancia con su argumentación Prieto & Carracedo (2013) y Carracedo et al. (2019) destacan que la prueba de ADN no proporcionará una respuesta definitiva de "sí" o "no", sino que solo ofrecerá una probabilidad. Asimismo, Pifarré (2021 y 2022) señala que siempre que se produce una coincidencia o compatibilidad entre un perfil genético dubitado y uno indubitado, es necesario realizar una evaluación estadística para determinar la probabilidad de que la coincidencia sea al azar en la población con ese perfil genético.

El doctor Pradini, por su parte, comenta la precisión que presumen los resultados de ADN actuales. Recuerda que antes había un 98% de probabilidad de coincidencia en el caso de que el análisis saliese positivo, cita textualmente “ahora la probabilidad de que haya otro individuo con el mismo perfil genético es de 0,000 en muchos casos.” De

manera que, si hay margen de error, lo más seguro es que sea porque lo han utilizado con gemelos monocigóticos, pero en principio es muy exacto. En respuesta a lo comentado por el doctor Pradini, Prieto & Carracedo (2013) atribuyen a la prueba genética el valor de “evidencia científica” lo que significa que las conclusiones que se pueden extraer de estas pueden ser calculadas de manera objetiva. Así, añaden que el valor de probabilidad que se puede obtener con una prueba de ADN suele ser muy alto, tal y como indica el doctor Pradini. No obstante, recalcan que en ocasiones, ese valor resulta no ser tan alto debido a diferentes factores. De modo que, es crucial que los peritos calculen y comuniquen correctamente este valor de la prueba genética al juez, y a su vez, es fundamental que los jueces lo entiendan adecuadamente.

Por su parte, el antropólogo forense aboga por la importancia de la interpretación de los resultados forenses más que por el simple conocimiento de los datos objetivos, señalando que eso no es suficiente en el ámbito forense. Este hace hincapié en la necesidad de comprender el significado y la relevancia de esos resultados en el contexto de la investigación o el caso específico. Según este profesional, los peritos forenses tienen la responsabilidad de realizar deducciones e inferencias a partir de los datos objetivos y esta labor implica aplicar su conocimiento y experiencia para extraer conclusiones pertinentes que contribuyan a esclarecer los hechos en cuestión. Concluye que estas deducciones podrán generar discrepancias y debates necesarios entre los expertos.

En este sentido, por parte de la fundamentación teórica, no se le da tanto valor a las interpretaciones de los peritos. Como ya se ha mencionado, Prieto & Carracedo consideran la prueba genética como una “evidencia científica”, lo que implica que el valor de la opinión siempre puede ser objetivado y cuantificado. No obstante, en apoyo a lo aportado por el antropólogo forense, estos autores señalan la importancia de que el perito comunique adecuadamente las implicaciones que tienen los resultados obtenidos a partir del cálculo de probabilidad. De esta manera, se debe asegurar la correcta interpretación por parte de los jueces del valor proporcionado por el perito, y cómo incorporarlo adecuadamente a otras pruebas para tomar una decisión final.

En definitiva, a través de los argumentos aportados desde ambas perspectivas (teórica y empírica) se puede sacar en claro que: aunque las pruebas genéticas puedan proporcionar datos objetivos y poco cuestionables, la realidad es que están sujetas a valores probabilísticos que son objeto de interpretación. De esta manera, únicamente

trabajando en conjunto, peritos y jueces se podrá aprovechar al máximo una prueba tan efectiva.

6.4.2 Bases de datos

El doctor Portero y el doctor Pradini, en consonancia con el antropólogo forense aclaran que en los casos fríos (casos sin resolver durante un largo periodo de tiempo), se puede recurrir a la base de datos de delincuentes sexuales condenados. Además, mencionan la posibilidad de mantener el perfil genético de un sospechoso en la base de datos y esperar a que en el futuro se encuentre alguna coincidencia o nueva evidencia que lo relacione con el caso. En este caso, Carracedo et al 2019 coincide con las aportaciones de los entrevistados, señalando que, en aquellos casos en los que no se ha identificado a ningún sospechoso, el proceso de identificación implicará realizar una búsqueda en una base de datos de ADN.

Por su parte, el doctor Pradini añade que la muestra que ingresa en la base de datos se traduce en una especie de código de barras que permanece ahí hasta que “hace match” es decir, que coincide con otro perfil, momento en el que ya se tendría al sospechoso. En contraposición con lo dictaminado por el doctor Pradini, Carracedo et al. 2019 señala que cuando se obtiene una coincidencia al comparar un perfil de ADN dubitado con la información de la base datos de ADN, ello puede significar: (i) que se ha encontrado el ADN de esa persona en las muestras dubitadas; (ii) que ha ocurrido contaminación; (iii) o que se trata de un falso positivo (una coincidencia fortuita con una persona que no está relacionada con el delito), ello dependerá del número de marcadores genéticos que compongan el perfil de ADN, cuanto menor sea el número de marcadores genéticos, mayor será el riesgo de obtener una coincidencia errónea. De modo que, no es suficiente con la simple coincidencia de perfiles para asumir que se ha encontrado al delincuente sexual. De nuevo, el siguiente paso consiste en evaluar estadísticamente el valor probatorio del ADN para respaldar la hipótesis de que la muestra provenga de una persona específica.

Por otra parte, la genetista, desde su perspectiva de laboratorio forense nos habla de que cuando se produce una coincidencia entre perfiles de ADN, se solicita al laboratorio que envió la muestra que verifique nuevamente si el perfil obtenido es consistente. Generalmente, se realiza una nueva prueba para confirmar de manera precisa la coincidencia entre los perfiles. Una vez que se establece esta coincidencia y se tiene certeza, se activa el proceso judicial que determinará la identidad de la persona implicada

y dará lugar a la continuación del procedimiento correspondiente. No se hace referencia a este aspecto en la fundamentación teórica. No obstante Villalobos (2017) señalando que tras obtener los distintos perfiles genéticos, es necesario someterlos a un exhaustivo proceso de revisión e interpretación para detectar posibles contaminaciones y confirmar la correcta amplificación por PCR. De esta manera, podemos concluir que, si se realiza una comprobación cuando se obtiene un perfil genético, parece lógico, tal y como señala la entrevistada, que se haga otra comprobación cuando se obtenga una coincidencia entre perfiles genéticos.

En conclusión, el uso de bases de datos de ADN se ha convertido en una herramienta importante en la resolución de casos fríos y la identificación de sospechosos en investigaciones criminales. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que una coincidencia de perfiles de ADN no es suficiente para establecer la culpabilidad de un sospechoso, ya que puede haber otras explicaciones como contaminación o falsos positivos.

6.5 INFORME FINAL E INTERVENCIÓN DEL PERITO EN EL JUICIO

ORAL

En lo que respecta al informe final e intervención del perito en el juicio oral, tal y como nos indica el título, a los entrevistados se les hicieron las siguientes preguntas:

En cuanto a la pregunta ¿Qué debe incluir el informe final del perito?, las variables de respuesta son las siguientes (Tabla 8):

- (i) A: Explica contenido del informe pericial forense.
- (ii) B: Explica contenido del informe de la prueba de ADN.

Con respecto a la pregunta ¿Cómo intervienen los peritos en el juicio oral? Se han identificado las siguientes variables de respuesta (Tabla 8):

- (i) C: Ratificación del informe y responder a las preguntas de las partes.
- (ii) D: Importancia de la intervención del forense como figura aclarativa de todo tipo de pruebas presentadas.

Tabla 8:

Análisis de resultados sobre el informe final y la intervención del perito.

ENTREVISTADOS				
INFORME FINAL E INTERVENCIÓN DEL PERITO Juicio Oral (J.O.)	Doctor Portero (M.F)	Doctor Pradini (M.F)	Antropólogo Forense	Genetista
Elaboración informe final	A	A	A	B
Participación del perito en el J.O.	C	C	D	C
Ejemplificaciones	A: “El informe recoge todo lo que ha realizado sobre la víctima, primero desde el reconocimiento físico, el reconocimiento psicológico, la toma de muestras...”	C: “Si las partes piden aclaraciones sobre el informe, les aclaramos”.	D: “El Forense lo que juega es ese papel un poco de integración. Él no es genetista. Pero si reconoce el informe de la genética le van a hacer preguntas y lo va a tener en cuenta en relación con otros aspectos”.	B: “Suele haber varias fases, están los análisis de laboratorio, luego un preinforme, luego un informe...”

6.5.1 Qué incluye la elaboración del informe final

El antropólogo forense, junto con ambos médicos forenses, explican que el informe final es muy importante y que todas las actividades del perito se tienen que plasmar en un informe pericial de manera objetiva, clara y precisa. Este informe pericial incluye todo lo que ha realizado sobre la víctima, desde el reconocimiento físico y psicológico hasta las pruebas y la toma de muestras realizadas. Asimismo, lo corrobora el Ministerio de Justicia (2021) señalando que todas las acciones relacionadas con la

evaluación pericial se registrarán en el informe pericial, seguidas de las consideraciones y conclusiones pertinentes en cada caso.

En el caso de la genetista, esta relata que en el informe se ha de incluir todo el procedimiento, herramientas y programas que han intervenido en el análisis de ADN. Así como el cálculo estadístico y las bases de datos de frecuencias de las variantes de ADN y el programa que se ha utilizado para hacerlos. El objetivo es, que en caso de contrapericia (que se pida un informe a un laboratorio distinto), el laboratorio que se escoja pueda replicar exactamente los mismos pasos y que salgan los mismos resultados. Todas estas consideraciones por parte de la entrevistada, también las toma en cuenta el GHEP-ISFG (2001) aclarando que esa información se deberá incluir en el informe emitido por el laboratorio. Además, añade que las opiniones o interpretaciones deben estar debidamente documentadas y claramente diferenciadas de los resultados del análisis.

A modo de conclusión cabe decir que el informe final es de vital importancia en la investigación, dado que, independientemente de donde provenga (forenses o genetistas), este debe plasmar de manera objetiva y ordenada todas las actividades y procedimientos realizados por el profesional. Así pues, representa la única garantía documental de que todo se ha llevado a cabo en razonable orden y que, por ende, las pruebas obtenidas durante la labor de los profesionales contribuirán en el esclarecimiento de los hechos.

6.5.2 Cómo intervienen los peritos en el juicio oral

Tanto los dos médicos forenses como la genetista señalan que, durante el juicio oral, los genetistas y médicos forenses cumplen el rol de peritos defendiendo y explicando razonadamente el contenido de su informe. Además, pueden ser requeridos para interpretar los resultados de las pruebas realizadas y responder a las preguntas de las partes involucradas. A este respecto desde el Ministerio de Justicia (2021) se añade que se deben tener en cuenta algunas consideraciones a la hora de responder a las preguntas, tales como: (i) no salirse del área específica de especialización o conocimiento; (ii) escuchar atentamente las preguntas y tomarse el tiempo necesario para responder; (iii) las respuestas deben ser concisas y precisas, evitando expresiones como “yo creo” o “yo pienso”; (iv) no hay que temer decir “no sé” cuando no se tiene la respuesta.

Además, el doctor Pradini añade que siempre hay que intentar ajustar el lenguaje a la comprensión de los que tienen que entender, que en este caso son los jueces, abogados,

fiscal... Pero aclara que se debe ajustar sin perder el rigor. La moderación del lenguaje, también viene contemplada en las recomendaciones del Ministerio de Justicia (2021) a la hora de exponer en el Juicio Oral. Esta institución refiere que se debe intentar utilizar un lenguaje sencillo y evitar el uso de terminología técnica. Y, en caso de ser necesario utilizar términos técnicos, se deben explicar de manera comprensible. En este sentido, el doctor Pradini entiende que los forenses son como un intermediario entre los genetistas y los jueces, ya que no saben tanto como los biólogos de genética, pero saben más que los jueces, así que tratan de transmitirles la información de forma sencilla.

Parecida es la intervención del antropólogo forense, el cual hace hincapié en el papel que el médico forense desempeña, integrando la información proporcionada por los peritos y considerando los resultados de la genética en relación con otros aspectos relevantes del caso. Señala que, aunque el médico forense no es un genetista, este puede tener en cuenta los informes de genética y responder a preguntas relacionadas con ellos ya que, al contar con conocimientos en diversas áreas forenses puede aclarar cualquier discrepancia o duda que surja durante el proceso. De esta manera, puede brindar una visión más completa y comprensible al tribunal y el resto de las partes involucradas.

Por el lado de los profesionales del laboratorio, es cierto que su finalidad se ciñe a aportar datos con la mayor objetividad posible, señalando el GHEP-ISFG (2001) que las interpretaciones deben ir claramente separadas de los resultados de análisis de ADN. De este modo, podemos intuir que los entrevistados hablan desde su experiencia personal, cuando señalan que pueden aportar una visión más completa y comprensible del informe genético para el juez y las partes.

6.6 VALORACIÓN DE LA PRUEBA GENÉTICA EN EL JUICIO ORAL

A continuación, se analizarán las respuestas proporcionadas por los diferentes entrevistados cuando se les preguntó sobre cómo valoran los jueces este tipo de pruebas. Sus aportaciones fueron las siguientes (Tabla 9):

Tabla 9:

Análisis de resultados sobre valoración de la prueba genética

VALORACIÓN DE LA PRUEBA GENÉTICA EN EL JUICIO ORAL	
Entrevistados	Aportaciones
Doctor Portero (M.F.)	Plantea el dilema del consentimiento. Recae en el juez la responsabilidad de tomar una decisión valorando el conjunto de pruebas.
Doctor Pradini (M.F.) Doctor Portero (M.F.)	Investigado niega los hechos, pero se encuentra su ADN, la prueba de ADN se convierte en una prueba definitiva.
Antropólogo Forense Genetista	Pruebas genéticas suelen ser determinantes en el juicio porque son objetivas y se basan en evidencias científicas sólidas.
Antropólogo Forense	A pesar de la objetividad de estas pruebas, pueden surgir debates sobre otros aspectos de la investigación.
Antropólogo Forense	Considera la influencia de los peritos en la decisión final del juez.
Genetista	Sobreestimación de la prueba de ADN cuando no se conoce bien su funcionamiento.

El doctor Portero resalta que no hay que olvidar que la prueba genética se trata de una prueba y que los jueces deben valorar muchas más pruebas e indicios para fundamentar su veredicto. Plantea un caso en el que la prueba genética es positiva y por tanto se identifica al autor, sin embargo, el autor confiesa que es normal que encuentren su ADN porque sí que se han dado relaciones sexuales, pero estas han sido consentidas. En el momento en que se abre el debate del consentimiento, la prueba de ADN pasa a un segundo plano y deberán entrar en juego otros factores. En este sentido, el juez siempre valora la declaración de la víctima con una serie de parámetros. En el caso de los médicos forenses, también se les pide realizar valoraciones sobre la veracidad o la sinceridad del testimonio. En definitiva, con estas aportaciones al procedimiento, el juez, valorando el conjunto de pruebas (declaración de él, de ella, etc.) y todos los elementos del contexto, tomará una decisión. De acuerdo con el entrevistado, Vargas (2010) señala que la

valoración de la prueba constituye el último paso de la actividad probatoria, que consiste en la evaluación mental que realiza el juez con el objetivo de determinar la solidez o convicción que se puede obtener a partir de las pruebas recopiladas en el proceso.

Por otra parte, ambos médicos forenses opinan, desde su experiencia profesional que, cuando un investigado niega los hechos y después se obtiene una identificación genética positiva, que demuestra la conexión entre los vestigios biológicos encontrados y el agresor, la prueba genética gana un peso absolutamente determinante.

Por su parte, Soletto (2016) relata que la prueba de ADN goza de una amplia creencia en el ámbito judicial de que, cuando se realiza bajo condiciones óptimas y utilizando métodos adecuados, sus resultados son prácticamente indiscutibles. Asimismo, el hecho de que la pericia proporcione un valor numérico, calculado mediante un procedimiento altamente automatizado, confiere a la prueba de ADN un sentido de objetividad que pocas pruebas científicas poseen, convirtiéndola en una de las más rigurosas en términos de percepción. De esta manera, en el momento en que se confirma la presencia de un sospechoso en la escena a través del ADN, a ojos del Juez este será un indicio de peso para decidirle culpable, más aún cuando el sospechoso hubiera negado su presencia en la escena.

Así, tomando en cuenta las aportaciones de Soletto (2016) y la experiencia de los médicos forenses, se puede concluir que, en casos donde se presenta una prueba genética y da un resultado positivo, la negación del sospechoso respecto a su implicación en el delito puede derivar directamente en su inculpación, ya que supondría la negación de una evidencia científica muy poderosa.

En lo que respecta al antropólogo forense y a la genetista, ambos señalan que las pruebas genéticas son consideradas determinantes en un juicio, ya que son más objetivas y se basan en evidencias científicas sólidas en comparación con otras pruebas periciales. No obstante, el antropólogo forense aporta que se deben tener en cuenta todas las posibilidades, dado que, en ocasiones, de manera excepcional se han llegado manipular los rastros de espermatozoides (aportando a la escena los rastros de otra persona). Con esto quiere decir que el ADN encontrado en un caso de agresión sexual es una prueba objetiva y no es discutible. No obstante, en otros aspectos de la investigación, pueden surgir diferentes interpretaciones e hipótesis.

En lo que respecta a Alcoceba (2018) la prueba de ADN se debe considerar una prueba indiciaria, ya que establece una conexión o vínculo entre la muestra de ADN y el individuo, pero no proporciona una identificación directa de su participación en el delito. Es por ello, que una vez se halle una conexión o vínculo, se deberán tener en cuenta todas las posibilidades, interpretaciones e hipótesis que puedan surgir, tal y como señalan los entrevistados.

Finalmente, el antropólogo forense destaca que, aunque el juez tiene la responsabilidad de interpretar todas las pruebas presentadas en el juicio, se reconoce que las opiniones periciales, en especial las relacionadas con pruebas genéticas, pueden influir en la decisión final. Existe cierta relación de lo aportado por el entrevistado con lo mencionado anteriormente, ya que se contempla por el Ministerio de Justicia (2021) y el GHEP-ISFG (2001), que a los peritos se les pueda requerir todo tipo de explicaciones y aclaraciones sobre el tema de discusión. Por tanto, resulta evidente que las aportaciones e interpretaciones de un genetista profesional, puedan influir en la decisión final del Juez (que no tiene conocimientos sobre genética).

La genetista hace alusión a una sobreestimación de la prueba de ADN cuando no se conoce con claridad su funcionamiento, tal y como ocurre en el caso de los jueces, cuya formación se ciñe exclusivamente a juzgar y ejecutar lo juzgado, no tienen por qué tener conocimientos sobre las limitaciones a las que está sujeta la prueba de ADN. En relación con esta cuestión, la jurisprudencia del Tribunal Supremo (STS 200/1980) destaca la importancia de que los indicios estén debidamente respaldados y relacionados entre sí, y que el razonamiento y el análisis se expliquen claramente. También mencionan la necesidad de evitar la sobrevaloración epistemológica y comprender que las pruebas científicas, incluida la prueba de ADN, están sujetas a interpretaciones y no garantizan una infalibilidad absoluta.

Para concluir, cabe mencionar que tanto la información bibliográfica como las experiencias de los entrevistados confirman que, a pesar de la clara objetividad que ofrecen los resultados de las pruebas de ADN, este tipo de pruebas están sujetas a otros elementos circunstanciales del caso investigado. Así pues, desde ambas perspectivas se destaca la tendencia a sobreestimar el peso de las pruebas genéticas, por lo que se advierte de la importancia de valorar todos los elementos que conforman el delito.

6.7 VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE PRUEBAS GENÉTICAS FRENTE A OTRAS TÉCNICAS FORENSES

En este apartado se les preguntó a los entrevistados cuáles son las ventajas de la utilización de pruebas genéticas en comparación con otras técnicas forenses. Estas fueron sus aportaciones (Tabla 10):

Tabla 10:

Análisis de resultados sobre las ventajas del ADN frente a otras pruebas.

VENTAJAS DEL ADN FRENTE A OTRAS PRUEBAS	
Entrevistados	Aportaciones
Antropólogo forense Genetista Doctor Pradini (M.F.) Doctor Portero (M.F.)	Objetividad y poder de identificación
Antropólogo Forense	Relevancia de pruebas genéticas en crímenes sexuales por la posibilidad de obtener muestras de ADN en el escenario y el cuerpo de la víctima.
Antropólogo Forense	Capacidad de expresar matemáticamente los resultados genéticos.
Genetista Doctor Pradini (M.F.) Doctor Portero (M.F.)	Estandarización de las pruebas.
Genetista	Existencia de un gran espíritu de mejora y colaboración en este ámbito.

A este respecto, todos los entrevistados opinan que una de las grandes ventajas de las pruebas genéticas es la objetividad y el poder de identificación que albergan. Esto implica que, si se realizan correctamente, los resultados de estas pruebas son concluyentes: lo que está presente en la muestra se detecta y lo que no está presente no se detecta. En definitiva, la utilización de pruebas genéticas en la investigación criminal ha demostrado ser potente y ha permitido analizar evidencias que de otra manera no podrían haber sido investigadas. En este sentido, ya se ha destacado anteriormente las aportaciones de Soletto (2016), el cual relata que la prueba de ADN, cuando se realiza

bajo condiciones óptimas y utilizando métodos adecuados, sus resultados son prácticamente indiscutibles.

Por otra parte, el antropólogo forense destaca la relevancia de las pruebas genéticas en la resolución de delitos sexuales. Menciona que, en la actualidad, prácticamente todos los casos de delitos sexuales requieren la participación de genetistas debido a la posibilidad de obtener muestras de ADN en el escenario del crimen. Esto proporciona garantías adicionales a la Administración de Justicia y reduce el espacio de incertidumbre en la interpretación de las pruebas. En consonancia a lo referido por el entrevistado, Álvarez Buján (2018) destaca la importancia de las pruebas de ADN en delitos sexuales, dado que a menudo se convierten en la única prueba directa y disponible aparte del testimonio de la víctima.

Asimismo, señala que la capacidad de expresar matemáticamente los resultados genéticos ha sido un avance significativo en la historia de la criminalística y la ciencia forense. Cualquier opinión en otro ámbito de la ciencia forense no se expresa matemáticamente, se expresa en términos de posible, probable o cierto, muy cierto, en base a una serie de argumentos técnicos y científicos.

Asimismo, tanto los médicos forenses como la genetista, resaltan la estandarización de las pruebas de ADN como otra de sus mayores ventajas. Es crucial que los análisis sean estandarizados, lo que significa que el mismo resultado debe ser obtenido independientemente del laboratorio o perito que realice el análisis. Esto asegura la confiabilidad y consistencia de los resultados. A este respecto, la genetista añade que los métodos y procedimientos utilizados en la genética forense han sido desarrollados de manera robusta, lo que implica que son confiables y tienen poco margen de error. Esto es esencial para evitar confusiones y malentendidos en los procesos judiciales, así como para prevenir el uso de laboratorios manipulados que puedan generar resultados falsos. El objetivo principal de la estandarización y robustez en la genética forense es evitar la semilla de duda en los juicios. A este respecto, es fundamental que los peritos puedan defender y ratificar sus informes de manera sólida, y responder a cualquier pregunta o inquietud planteada en el proceso judicial.

En este sentido, Carracedo et al. (2019) señala que la característica más importante que distingue el análisis de ADN de otras técnicas de identificación forense es que en el caso del ADN, podemos realizar cálculos basados en conocimientos genéticos

consolidados y científicamente comprobados. No existe una teoría básica similar disponible para la mayoría de las técnicas forenses no genéticas. Es por ello que, en otras disciplinas diferentes, varios analistas pueden llegar a conclusiones distintas al examinar la misma prueba, mientras que tal y como señalan los entrevistados, las pruebas de ADN se encuentran plenamente estandarizadas y cuentan con un escaso margen de error.

Por último, la genetista pone en relevancia que la mayoría de las inversiones en términos de genética se destinan a la utilización de ADN para la investigación penal. Esto ha supuesto una actualización de métodos y unos avances casi inmediatos. Por tanto, refiere a la existencia de un gran espíritu de mejora y colaboración. Señala como un ejemplo de ello el caso de las auditorías (inspecciones periódicas), cita textualmente: “Los laboratorios forenses se muestran siempre colaboradores y dispuestos a compartir información durante las auditorías. Aunque puedan generar cierto temor, el personal de los laboratorios muestra una actitud abierta, enseñando todo lo que han hecho y admitiendo posibles fallos. Esto demuestra una actitud de transparencia y mejora continua en el ámbito forense”. En este sentido, la entrevistada señala que existe un alto nivel de entusiasmo y dedicación en los laboratorios forenses. Así lo verbaliza “Las personas implicadas en este trabajo se esfuerzan al máximo y muestran una gran pasión por su labor. Esta alta implicación es envidiable y contribuye a la calidad y seriedad del trabajo forense”.

A modo de conclusión, resulta interesante poner en relieve que, todos los entrevistados, así como los autores de la fundamentación teórica contemplan como ventajas de la prueba genética lo siguiente: (i) se trata de una prueba objetiva que conlleva un carácter identificativo muy poderoso; (ii) la identificación se valora en términos probabilísticos que han sido estudiados y ratificados científicamente por las teorías genéticas (iii) consecuentemente, dicho poder identificativo adquiere todavía más credibilidad. Por otra parte, la genetista ha considerado destacar como una ventaja más, la profesionalidad y el espíritu de mejora que caracteriza a los profesionales del laboratorio. Señalando estos elementos como una motivación que les empuja a querer evolucionar y ser lo más precisos posibles en la realización de pruebas de ADN.

6.8 TÉCNICAS INNOVADORAS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

En esta sección se les preguntó a los entrevistados si tenían algún conocimiento sobre las perspectivas de futuro o nuevas técnicas del ADN, que pudieran suponer un gran avance en las investigaciones penales. Estás fueron sus aportaciones (Tabla 11):

Tabla 11:*Análisis de resultados sobre técnicas innovadoras del uso de ADN.*

TÉCNICAS INNOVADORAS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO	
Entrevistados	Aportaciones
Antropólogo forense	Registrar perfil genético de todos los ciudadanos como medida preventiva.
Genetista Antropólogo Forense Doctor Pradini (M.F.) Doctor Portero (M.F.)	Creación de un perfil fenotípico a través de ADN codificante.
Genetista Antropólogo Forense	Técnica Multivariable (Mutiple Parallel System) de análisis de ADN.
Doctor Pradini (M.F.)	Iniciativas comunitarias de recolección masiva de muestras de ADN.
Antropólogo Forense	Considera la influencia de los peritos en la decisión final del juez.
Genetista	Sobreestimación de la prueba de ADN cuando no se conoce bien su funcionamiento.

El antropólogo forense menciona que, en aras de prevención, sería muy efectivo registrar el perfil genético de todos los ciudadanos ya que podría ayudar a identificar rápidamente a los agresores y a prevenir futuras reincidencias. Sin embargo, expresa una gran preocupación por el posible mal uso de los perfiles genéticos y la invasión de privacidad de las personas que pueden surgir al implantar una medida tan extrema.

Todos los entrevistados han mencionado como técnica innovadora para la resolución de casos de crímenes sexuales, la creación de un perfil fenotípico a través del

ADN codificante. Es decir, conseguir descifrar las características morfológicas de una persona (color de ojos, forma de la cara, color de piel, altura, etc.) a través de vestigios biológicos. A este respecto, cada entrevistado aporta lo siguiente:

Tanto el antropólogo forense como la genetista señalan que existe preocupación acerca de la protección de la privacidad y la confidencialidad de la información genética, especialmente en relación con enfermedades hereditarias. Ambos esperan que en el futuro se produzcan avances en la legislación y la aplicación de técnicas genéticas en la medicina y en la resolución de casos delictivos, utilizando el genoma completo de las personas. Conforme a estas aportaciones Álvarez Buján (2018), señala que la determinación de rasgos físicos a través de ADN no implicaría necesariamente una violación del derecho a la intimidad genética. Puesto que, los rasgos fenotípicos, como el color del cabello, los ojos o el origen étnico que se pueden determinar a partir del análisis del ADN codificante, se refieren al aspecto externo de la persona.

Por su parte, el doctor Portero refiere que siempre hay que tener en cuenta las cuestiones éticas y de proporcionalidad. No obstante, plantea que, en el futuro podría replantearse la consideración de los derechos individuales en función del peso del interés público. Lo que implica reflexionar sobre el equilibrio entre el bienestar de la sociedad y la protección de los derechos individuales de, por ejemplo, un agresor sexual. En este sentido, Álvarez Buján (2018) propone ciertas consideraciones para salvaguardar el principio de proporcionalidad, las cuales se deberían tener en cuenta cuando se aplique esta técnica: (i) la emisión de una autorización judicial motivada; (ii) la exclusión de la información sobre características físicas de las bases de datos policiales de identificadores obtenidos a partir del ADN; (iii) y el uso exclusivo de esta información para la identificación del presunto autor de los hechos investigados cuando no existen otras pistas o muestras fiables aparte de las biológicas encontradas en el lugar de los hechos o en el cuerpo de la víctima.

El doctor Pradini por su parte, opina que no debería considerarse como un impedimento el acceso a información sensible como la afección de una enfermedad, ya que todo perito cuando hace un informe solo puede utilizar la información necesaria para el caso y deberá omitir cualquier dato que pueda ser sacado de contexto o que sea innecesario. Sin embargo, considera que, por ahora, esta técnica no parece que vaya a ser reveladora, puesto que tiene el mismo funcionamiento que un retrato robot.

En este sentido, la genetista no opina que se trate de un retrato robot cualquiera, ya que no está sacado a partir de la memoria inexacta de un testigo. Por su parte, las aportaciones de Álvarez Buján (2018) no coinciden con el doctor Pradini, mientras que sí apoyan el argumento de la genetista, señalando que el análisis de ADN no conlleva la subjetividad de un testigo presencial que describe al sospechoso, se trata de una metodología más fiable y exacta.

Por su parte, la genetista expone que, desde su laboratorio se está trabajando en la creación de un retrato robot a partir del ADN encontrado en evidencias. Aunque aún está en una etapa prematura, se puede obtener información sobre características faciales, como la separación de los ojos, el ancho de la nariz o el mentón. Esto puede ayudar a orientar investigaciones en casos "fríos" sin testigos ni sospechosos. Existe un proyecto de colaboración entre el entrevistado y varias universidades (Universidad de Granada, Universidad de Zaragoza y Universidad de La Coruña) para desarrollar el retrato robot utilizando escaneos faciales y mediciones antropométricas. También se ha trabajado con bioinformáticos y se ha utilizado inteligencia artificial para analizar los datos recopilados. Así pues, la entrevistada destaca la importancia de trabajar en grupos multidisciplinares en el campo de la ciencia, ya que combinar conocimientos de diferentes áreas (antropología, bioinformática, programación, etc.) permite lograr avances significativos.

De esta manera, se puede intuir que, quizás el doctor Pradini no concibe todavía la funcionalidad de esta metodología porque se trata de una técnica con la que no está familiarizado y desconoce tanto el trabajo como los avances realizados hasta el momento. Además, no puede poner en práctica esta técnica en sus labores como forense, por lo tanto, no puede comprobar de primera mano sus resultados.

Por otra parte, el antropólogo forense y la genetista mencionan la técnica de análisis multivariable MPS (Massively Parallel Sequencing), que permite analizar simultáneamente marcadores genéticos en muestras, incluyendo autosómicos, cromosoma Y, cromosoma X, mitocondrial y marcadores puntuales. En este sentido, Promega (s.f) señala que la MPS ofrece una solución a los principales desafíos que enfrentan los métodos de Electroforesis Capilar, como distinguir la variación alélica real de los artefactos de PCR, interpretar mezclas y obtener perfiles utilizables a partir de ADN degradado. Aunque los entrevistados señalan que existen desafíos relacionados con la estandarización y la nomenclatura, se espera que esta técnica sea implementada en el

futuro y proporcione datos adicionales como la ancestralidad y los lazos de parentesco entre personas involucradas en casos delictivos.

En adición, el antropólogo forense aporta que esta técnica aún no ha sido validada de manera suficiente por las autoridades judiciales. Pertenece más al ámbito de los laboratorios privados, pero se espera que en el futuro se convierta en una herramienta importante en los laboratorios forenses. A este respecto, desde Promega (s.f) también se espera que los avances futuros en MPS, impulsen una adopción más generalizada, así como la validación de estos métodos.

En lo que respecta al doctor Pradini, este menciona la creación de iniciativas de recolección de muestras de ADN masivas. Pone el ejemplo de un caso de agresión sexual, no recuerda si fue en España o en Inglaterra. El doctor Pradini cuenta que se habían encontrado restos de ADN, pero no se tenía sospechoso del que extraer las muestras indubitadas. Entonces se pidió colaboración ciudadana para que donasen muestras de su ADN con la esperanza de que algún familiar del agresor acudiera a donar. Evidentemente, aunque el agresor no acudió a dar su ADN, su hermano si lo hizo, y cuando se comprobó que era un perfil muy parecido al de los vestigios recopilados, se investigó al entorno familiar y acabaron pillando al agresor. Con esto quiere resaltar, que el sentimiento de comunidad y colaboración entre residentes de un mismo lugar pudo llevar a la resolución de un crimen. De este modo, si este tipo de iniciativas se pusieran en marcha con asiduidad, sería posible rescatar innumerables investigaciones catalogadas como “casos fríos”.

Tal y como se puede observar, los avances aportados por la fundamentación empírica coinciden con algunas de las propuestas innovadoras de los entrevistados. Sin embargo, no es posible obviar que las propuestas desde la perspectiva bibliográfica únicamente contemplan innovaciones técnicas respecto al análisis de ADN. Mientras que, desde la perspectiva empírica, también se aportan algunas ideas o iniciativas de carácter social que implicarían una completa transformación del uso y la concepción del ADN como sociedad.

6.9 LIMITACIONES DEL USO DE PRUEBAS GENÉTICAS

En consonancia con el apartado de hipótesis, lo que se pretende medir con estas preguntas es cómo afectan las limitaciones planteadas a las pruebas genéticas, y qué

alcance tienen dichas limitaciones. De esta manera, cada una de las preguntas realizadas a los entrevistados está ligada a una de las limitaciones planteadas.

Limitación 1: ¿Consideras que la recogida de muestras tardía o pasado un tiempo desde que se produjo la agresión sexual es una limitación para las pruebas genéticas?

Con respecto a la limitación 1, se han registrado las siguientes variables de respuesta (Tabla 12):

- (i) A: Sí, se considera muy importante la rapidez en la recogida de muestras.
- (ii) B: Con las nuevas técnicas de análisis de ADN, la limitación del tiempo tiene cada vez menos relevancia.

Limitación 2: El procedimiento para la realización de pruebas genéticas conlleva la involucración de diversas instituciones (Justicia, Medicina Forense, Policía...). ¿Genera a problemas la coordinación y colaboración entre dichas instituciones?

En lo que respecta a la limitación 2, se han registrado las siguientes variables de respuesta (Tabla 12):

- (i) C: La coordinación y colaboración entre varias instituciones puede afectar negativamente a la realización de pruebas genéticas.
- (ii) D: Piensa que la colaboración entre instituciones es buena, pero añade matices.
- (iii) E: No piensa que la coordinación entre instituciones pueda suponer una limitación.

Limitación 3: ¿Dirías que la contaminación y el deterioro de las muestras una de las limitaciones de las pruebas genéticas?

Con respecto a la limitación 3 solo se han registrado las variables de respuesta (Tabla 12):

- (i) F: Considera que la contaminación de las muestras es una de las limitaciones de las pruebas genéticas.
- (ii) G: Considera que la contaminación de las muestras no es una limitación muy relevante en las pruebas genéticas.

Limitación 4: En los laboratorios se da una gran carga de trabajo y que cuentan con recursos limitados ¿Crees que eso ralentiza los análisis de ADN?

En cuanto a la limitación 4 únicamente se ha registrado la variable de respuesta H: la falta de recursos y la gran carga de trabajo ralentiza el proceso de análisis de ADN (Tabla 12).

Para finalizar con este apartado, también se les ha preguntado sobre la consideración de otras posibles limitaciones, dado que resulta de gran interés para esclarecer el funcionamiento actual de las pruebas genéticas.

Tabla 12:

Análisis de resultados sobre las limitaciones del uso de pruebas genéticas.

ENTREVISTADOS				
Limitaciones del uso de pruebas genéticas	Doctor Portero (M.F)	Doctor Pradini (M.F)	Genetista	Antropólogo Forense
Limitación 1	A	B	B	B
Limitación 2	C	D	E	C
Limitación 3	F	G	F	F
Limitación 4	H	H	H	H
Ejemplificaciones	<p>A: “Rapidez, lo importante es la rapidez del acceso a la víctima”.</p> <p>F: Contaminaciones cruzadas de nosotros mismos, en el hospital, en el laboratorio ya, es decir, en muchos sitios se puede contaminar una muestra</p>	<p>C: “La relación entre instituciones no es mala, pero está sujeta a pequeños roces”.</p> <p>H: “En agresiones sexuales se pueden llegar a recoger 300 muestras (...) ni los genetistas están empezando a dar abasto”.</p>	<p>B: “Con las técnicas de hoy en día se puede analizar un vestigio de ADN del tamaño de 30 células”.</p> <p>E: “No hay competencia entre los distintos agentes, no hay confrontación, lo que hay es, cada uno hace su trabajo y trata de hacerlo mejor posible”.</p>	<p>D: “En general, la colaboración es buena. Quizás la dificultad es que intervienen varios laboratorios en un solo caso”</p>

6.9.1 Demora en la recogida de muestras

Por una parte, el doctor Portero sostiene que pueden surgir algunas limitaciones cuando pasa un tiempo desde la ocurrencia del hecho hasta la recogida de muestras. Este enfatiza la importancia de la rapidez en la obtención de muestras biológicas para maximizar la utilidad de las pruebas genéticas. Si se tarda demasiado tiempo (más de 48 horas) en recolectar muestras de una víctima, especialmente en casos de agresión sexual por vía bucal, los resultados pueden ser negativamente afectados debido a factores como la ingesta de alimentos o el paso de varias horas. En definitiva, para el doctor Portero la inmediatez en la obtención de muestras es fundamental para preservar las pruebas.

En contraposición el antropólogo forense, el doctor Pradini y la genetista, opinan que hoy en día, gracias a los avances técnicos en cuestiones de pruebas genéticas, se puede sacar partido al más mínimo vestigio de ADN y tiene que pasar mucho tiempo para que ya no haya rastro de los restos biológicos del agresor. El doctor Pradini añade, “incluso si ha habido higiene por parte de la víctima se encontrarán muestras, lo dificulta, pero se puede”. En este sentido, el antropólogo forense argumenta lo siguiente: “Parece que es cuestión de rapidez, pero en el caso de ADN que viene del esperma puede perdurar hasta 2 meses o más en el cuello del útero. Entonces igual la rapidez no sería una limitación”. Asimismo, considera que cada vez se da una mayor concienciación de lo que se debe hacer si sufres una agresión sexual y muchas mujeres, además de recurrir casi inmediatamente a los servicios de asistencia pertinentes, evitan higienizarse antes de acudir a urgencias porque saben que, por muchas ganas que tengan de lavarse, deben resistirse para facilitar la obtención de pruebas.

En cuanto a las aportaciones de la fundamentación teórica, encontramos que desde el protocolo VISEM (2022) se señala que la permanencia de espermatozoides puede ser de 7 a 10 días en la vagina, 2 a 3 días en el recto y 24 horas en la boca. Esto nos sugiere que, en el caso de una agresión sexual por vía oral sí que premia la rapidez, en consonancia con lo aportado por el doctor Portero. Sin embargo, en lo que respecta a las demás zonas, la rapidez no es un factor fundamental. Asimismo, Fernández 2020 señala que estos datos incluidos en el protocolo mencionado pueden cambiar el paradigma anterior en el que solo se recogían muestras en las primeras 48 horas porque si pasaban de ese tiempo se consideraba que ya no habría vestigios aprovechables. En este sentido es posible que el doctor Portero tenga una perspectiva más obsoleta sobre la rapidez en la recogida de muestras, ya que lleva sin ejercer como médico forense desde hace varios

años. Este hecho podría dar explicación a que este entrevistado exponga una visión diferente a la del resto de entrevistados, los cuales siguen ejerciendo en sus funciones.

Nuestra hipótesis H1, contempla que, si no se recogen los vestigios con máximo 72 horas tras la agresión, esto limitaría considerablemente la obtención de vestigios biológicos aprovechables. De esta manera, en base a los fundamentos teóricos y empíricos expuestos, se puede considerar que H1 se refuta. Puesto que, toda la información aportada, salvo la de un entrevistado, apunta a que los avances y el desarrollo de nuevas herramientas y tecnologías han permitido que la recogida de muestras sea rentable más allá de las 48 horas que tradicionalmente se contemplaban y dependiendo del caso, más allá de las 72 h.

6.9.2 Colaboración y coordinación entre instituciones

Tanto el doctor Portero como el antropólogo forense coinciden en la importancia de mejorar la colaboración y coordinación entre las instituciones involucradas en la investigación criminalística, particularmente entre la policía y los médicos forenses. Ambos entrevistados señalan que actualmente existe cierto recelo en la transmisión de información entre estas entidades, ya que no existe ningún tipo de directrices o indicaciones sobre qué aspectos de la investigación hay que compartir. Por tanto, a veces esta falta de comunicación puede dar lugar a malentendidos y dificultades en la investigación.

En este sentido, el doctor Portero destaca la necesidad de una colaboración más abierta y franca, sin dobleces, para mejorar la coordinación en la investigación y promover una comunicación adecuada entre ambas partes (Policía y Médicos forenses).

Por su parte, el antropólogo forense menciona la importancia de mejorar la coordinación y el contacto entre las diferentes instituciones involucradas en la investigación criminalística en España. Destacan que existen diferentes laboratorios encargados de analizar las muestras y evidencias, para cada caso: los laboratorios de referencia para los médicos forenses y los laboratorios de la policía científica. En definitiva, el hecho de que las diferentes muestras de la escena o recogidas en personas se tengan que examinar en laboratorios distintos, puede generar inconvenientes y pérdidas de tiempo en el reparto de funciones, malentendidos y replanteamientos. El doctor Pradini considera que, en general, la colaboración entre instituciones es buena. No obstante, coincide con el antropólogo forense en el aspecto de los laboratorios.

Por su parte, la genetista no está de acuerdo con las anteriores afirmaciones ya que, desde su punto de vista, considera que existe un intercambio de información fluido y una colaboración continua entre los laboratorios forenses, la policía judicial, los forenses, los jueces y otras instituciones. La policía judicial y los médicos forenses proporcionan las evidencias bajo cadena de custodia, y los laboratorios pueden comunicarse con los remitentes de las evidencias para aclarar dudas o solicitar información adicional. Si es necesario, también pueden consultar al juez instructor para obtener permisos especiales o resolver cuestiones relacionadas con el análisis de las pruebas. El objetivo principal es resolver el caso y emitir informes adecuados que se ajusten a la realidad lo más posible. La genetista insiste en que no hay competencia ni confrontación entre los actores del proceso forense y cada uno desempeña su papel y se esfuerza por hacerlo lo mejor posible. Tampoco se realizan juicios de valor, y los peritos aprenden a evitar entrar en valoraciones subjetivas “En el caso de que desde la policía científica reciba unas muestras mal etiquetadas, yo no voy a pensar que son unos descuidados o que hacen mal su trabajo, simplemente me pondré en contacto con ellos y aclararemos el asunto como buenos profesionales”. Finalmente añade que, El objetivo común es esclarecer la verdad de los hechos y determinar quién está involucrado en un delito. Y todos trabajan conjuntamente para lograr este objetivo.

Sobre este aspecto, no contamos con información desde la fundamentación teórica ya que, esta limitación se ha propuesto a través de inferencias realizadas a partir de los datos emitidos por varios autores a lo largo del marco teórico. Al respecto se hace referencia de manera más detallada en la sección sobre la definición de objetivos e hipótesis. De este modo, únicamente contamos con la experiencia personal aportada por los profesionales entrevistados, para corroborar o descartar el contenido de la hipótesis H2. En la cual, se aboga por la existencia de limitaciones derivadas de la necesidad de coordinación y colaboración entre diversas instituciones.

Sin más dilación, cabe señalar que todos los entrevistados a excepción de la genetista, han referido encontrar limitaciones e inconvenientes expresados de forma diferente en alguno de los ámbitos que requieren de colaboración o coordinación entre distintas instituciones. De esta forma, en base a lo expuesto desde la fundamentación empírica podemos confirmar H2.

Consideramos interesante destacar que precisamente los entrevistados que trabajan o han trabajado de médicos forenses tienen objeciones respecto a la colaboración

y coordinación con otras instituciones. Resulta evidente que, desde su experiencia personal en continuo contacto con otros agentes como la policía científica o los laboratorios acreditados, se hayan generado problemas. Sin embargo, en el caso de la genetista, puede que considere que la colaboración y coordinación no es para nada limitante porque no ha experimentado ningún problema en este sentido. Y, el hecho de que no ha experimentado ningún problema se debe a que, desde su laboratorio, BIOMICs, únicamente se cumplen ciertos encargos subsidiarios en cuestiones penales y civiles. Se trata de un laboratorio universitario que se dedica mayormente a la investigación, lo que reduce considerablemente el número de encuentros con las distintas instituciones involucradas en la investigación penal. De esta manera, sería comprensible que haya adquirido una primera impresión más positiva de esta coordinación entre instituciones, en comparación con otros profesionales que lo experimentan con asiduidad.

6.9.3 Contaminación, deterioro o mala calidad de las muestras

A este respecto, el doctor Portero y el antropólogo forense señalan que una de las mayores limitaciones de las pruebas genéticas es la posibilidad de contaminación cruzada, lo que puede generar resultados erróneos y poner en duda la fiabilidad de la prueba. Además, tanto el doctor Portero como la genetista hacen hincapié en que, aunque la prueba de ADN está muy estandarizada y todos los laboratorios forenses utilizan las mismas técnicas, aún pueden existir errores humanos o técnicos en la toma de muestras o en el análisis de las mismas. Asimismo, lo refiere Vargas (2010) indicando que una de las formas de contaminación puede ocurrir por la actuación negligente de las personas involucradas en la recogida o transporte de muestras. En este sentido, el antropólogo forense destaca el problema de la transferencia involuntaria, en la que, debido a una muestra circunstancial en el ropaje de la víctima, ha habido personas que se han visto involucradas en un proceso penal como sospechosos, cuando realmente no había tenido nada que ver con el hecho delictivo. En este sentido, Vargas (2010) aporta que la contaminación puede tener lugar antes de la comisión de los delitos que dieron lugar a los vestigios relacionados con el caso.

Por su parte, el doctor Pradini considera que además de la contaminación por errores humanos, se debe tener en cuenta la protección de las muestras frente a la proliferación de hongos. Dado que las muestras que se recogen son de zonas con contenido bacteriano, se debe tener precaución en cuanto a su recogida y conservación, ya que, con las condiciones apropiadas (una de ellas la humedad), las bacterias proliferan.

Vargas (2010), de acuerdo con el doctor Pradini, indica que en el caso de vestigios húmedos, el ambiente puede propiciar la proliferación bacteriana y fúngica, por lo que se requiere su conservación en frío o congelación. Igualmente, el entrevistado opina que en la práctica se dan pocos fallos con respecto al tratamiento y la conservación de las muestras, dado que todos los procedimientos están sistematizados y controlados para evitar que suceda cualquier tipo de contaminación. Por lo tanto, no considera que sea una limitación de peso para las pruebas genéticas.

Vargas (2010) señala como otro inconveniente a la calidad o cantidad de la muestra misma. Es decir, las muestras a analizar pueden ser muy pequeñas o contener una cantidad insuficiente de ADN. A este respecto, la genetista comenta que en el pasado la escasez de vestigios biológicos podía suponer una limitación, dado que no se podían realizar los análisis de ADN si no se disponía de una gran cantidad de muestra. No obstante, la entrevistada cita textualmente: “Con las técnicas anteriores, se necesitaba una mancha de sangre del tamaño de una moneda de 50 céntimos para poder extraer ADN. Con las nuevas técnicas, una mancha de sangre del tamaño de la cabeza de un alfiler. Es decir, hay suficientes células como para extraerles el ADN y que podamos tener los resultados”. Es decir, que hoy en día se puede extraer ADN de indicios casi imperceptibles a simple vista. De igual manera lo reportan Carracedo et. al (2019), los cuales señalan que, hasta alrededor del año 2000, los expertos en genética forense no tenían la capacidad de obtener perfiles de ADN a partir de muestras muy pequeñas de material biológico. No obstante, a medida que se han desarrollado las técnicas forenses de ADN, se ha mejorado su sensibilidad, es decir, su capacidad para detectar cantidades cada vez más diminutas de ADN

Nuestra hipótesis H3 plantea que la contaminación o deterioro de las muestras es una limitación importante en las pruebas de ADN. Desde la perspectiva de los entrevistados, solo el doctor Pradini cuestiona que la contaminación de las muestras sea una limitación real en la actualidad. Por otro lado, los demás profesionales indican de alguna manera que la contaminación puede afectar significativamente las pruebas genéticas. Además, la fundamentación teórica también expone las diversas formas de contaminación de vestigios biológicos que tienen consecuencias en la realización de pruebas de ADN.

Teniendo en cuenta las diferentes contribuciones desde ambas perspectivas (empírica y teórica), podemos concluir que se confirma H3. Sin embargo, es importante

realizar ciertos matices respecto a la respuesta proporcionada por el doctor Pradini. Por un lado, es cierto que se han desarrollado nuevos métodos y protocolos para el tratamiento de las muestras que reducen al mínimo las probabilidades de contaminación. Es probable que el doctor Pradini se haya basado en estos avances para argumentar que en la práctica apenas se generan problemas de contaminación. Sin embargo, aunque sea algo poco común, la contaminación seguiría siendo una limitación. Si una muestra se contamina, puede volverse inutilizable y eso podría afectar a la investigación penal.

Por otro lado, también se podría inferir que el doctor Pradini, desde su experiencia profesional, no ha tenido complicaciones de este tipo y, por lo tanto, generaliza su perspectiva. O tal vez, si ha tenido experiencia con casos de contaminación de muestras, las repercusiones no han sido tan graves (en casos de delitos menores) como para que él le dé importancia a esta problemática.

6.9.4 Alta demanda de trabajo y falta de recursos

Para el doctor Portero la falta de personal y recursos puede suponer un problema tanto en la realización de las pruebas genéticas como en la investigación en general. En particular, señala que el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses, ha desarrollado una gran cola de muestras a analizar, debido a la alta demanda de pruebas.

Por su parte, el antropólogo forense hace referencia a una ralentización del proceso debido a la gran cantidad de muestras recogidas y no tanto a la falta de recursos o personal. Refiere que, en los casos de agresiones sexuales, se toman numerosas muestras para su análisis, que pueden ser alrededor de doscientas, trescientas o ciento cincuenta por escena del crimen/víctima/caso. Esto genera una gran demanda en los laboratorios y dificultades para gestionar la cantidad de trabajo. El antropólogo forense atribuye este problema a que las muestras no son recogidas por las mismas personas que las analizan, y ello puede derivar en la sobre colección por precaución. Termina por puntualizar que, aunque la cantidad de muestras pueda resultar abrumadora, no se menciona un colapso en el sistema por parte de los genetistas, ya que la tecnología actual, permite analizar grandes cantidades de muestras de manera más eficiente.

El doctor Pradini hace referencia a que se están quedando sin espacio para almacenar las muestras en el Instituto de Medicina Legal de Pamplona, debido a la cantidad de casos que se archivan, que no llegan juicio o que simplemente tardan años en ir a juicio. Opina que, si legalmente existe la obligación de conservar las muestras

tomadas hasta la prescripción del delito; o bien deberían facilitarles más recursos de almacenamiento, o bien deberían cambiar la ley y reducirse el tiempo de conservación.

En el caso de la genetista, desde su perspectiva como tal aporta que el tiempo de espera para realizar las pruebas y recibir los resultados, puede ser afectado por el número de muestras y la demanda en el laboratorio. En el caso concreto de España, el hecho de que existan pocos laboratorios de referencia para la Administración de justicia puede ser considerado como un problema, especialmente porque contamos con recursos limitados y si la carga de muestras no se reparte entre más laboratorios, esto puede provocar que haya demoras en el procesamiento de las muestras debido a las colas y la alta demanda. En este sentido, la genetista sugiere que sería beneficiosa la aplicación de un procedimiento de actuación como el de Francia, que enfoca esta situación de forma diferente. Realizan concursos en los que los laboratorios especializados en el campo pueden presentarse y estimar la cantidad de muestras que pueden procesar. El Ministerio de Interior o de Justicia adjudica las muestras a los laboratorios según su capacidad. Esto permite agilizar el proceso, ya que los laboratorios acreditados trabajan de manera estandarizada y pasan controles anuales para asegurar la calidad de los perfiles genéticos.

En definitiva, la entrevistada resalta la falta de optimización en el reparto de muestras, ya que, a pesar de contar con numerosos laboratorios acreditados en el territorio español, los únicos que tienen vinculación directa con la Administración de justicia en cuestiones de criminalística, son el INTCF y sus distintas sedes.

De nuevo, a este respecto, tampoco contamos con información desde la fundamentación teórica ya que, esta limitación se ha propuesto a través de inferencias realizadas a partir de los datos emitidos por varios autores a lo largo del marco teórico. Al respecto se hace referencia de manera más detallada en la sección sobre la definición de objetivos e hipótesis. De este modo, únicamente contamos con la experiencia personal aportada por los profesionales entrevistados, para corroborar o descartar el contenido de la hipótesis H4. Como ya se ha comentado en apartados anteriores, dicha hipótesis aboga por la existencia de limitaciones fruto de la falta de personal y recursos en materia de pruebas genéticas.

Una vez analizado lo expuesto desde la fundamentación empírica, podemos concluir que se confirma H4. Siendo aportado por cada uno de los entrevistados, al menos un argumento indicativo de la existencia de una gran carga de trabajo y falta recursos, así

como una vaga optimización de los recursos que disponemos, lo cual puede derivar en la ralentización del análisis de ADN en los laboratorios.

6.9.5 Otras posibles limitaciones

Para el antropólogo forense una de las limitaciones más presentes en cuestión de pruebas genéticas es el dilema del consentimiento. Cuando en los casos de agresiones sexuales el debate se centra en determinar si ha habido consentimiento, la prueba genética tiene poca utilidad en ese contexto. En algunos casos, las relaciones pueden comenzar siendo consensuadas y luego volverse violentas o no consensuadas. Estos escenarios pueden generar confusión y desafíos para comprender la dinámica de la relación. Así pues, el entrevistado destaca la necesidad de estudiar y analizar todas las situaciones y perspectivas, ya que cada caso puede tener sus propias complejidades y matices.

Por otra parte, tanto el antropólogo forense como la genetista hacen referencia a la pequeña limitación de los delincuentes con conciencia criminalística. Es decir, las pruebas genéticas en ocasiones presentan desafíos, ya que los criminales intentan evadir su detección utilizando guantes o métodos para evitar dejar rastro de ADN como la desinfección con lejía. Este mismo problema lo contempla Vargas (2010) que señala la existencia de casos en los que se altere intencionalmente la evidencia con el objetivo de entorpecer la investigación.

Por su parte, la genetista ha puesto en relevancia otro error típicamente humano como la sobre interpretación de las pruebas. Ella señala que, “por ejemplo, en el caso de que le envíes a un juez con escasa experiencia en estos temas un perfil de 6 marcadores, estos están sujetos a una limitación y por ello es importante comunicar adecuadamente las limitaciones de las pruebas a los jueces y evitar malentendidos”. Un ejemplo similar lo ofrecen Prieto & Carracedo (2013) indicando que los juristas no están obligados a ser expertos en ADN, y si, por ejemplo, el perito solo incluye en su informe que el ADN mitocondrial de la muestra de la escena coincide con el del acusado, el juez puede creer que esta coincidencia tiene una gran importancia (que es muy identificativa), ya que al fin y al cabo es una prueba de ADN. De hecho, aporta la genetista que, para solucionar este problema en concreto, de la malinterpretación de resultados, se han llegado a dar conferencias entre jueces y genetistas para obtener formación tanto unos como otros (ya sea en términos genéticos como en términos jurídicos). Señala que este tipo de reuniones se mantuvieron cuando comenzaron los análisis genéticos, no obstante, ahora esos jueces que recibieron formación van siendo reemplazados por otros nuevos, por lo que sugiere

que debería implementarse constantemente esta herramienta de comunicación para evitar malinterpretaciones en el futuro. “Hay que seguir actualizándose, y eso incluye a los jueces jóvenes que se incorporen al sistema”.

Asimismo, la entrevistada alude al problema de los gemelos idénticos como una limitación, poco común pero presente en las pruebas genéticas. De modo que, En el caso de gemelos idénticos, que comparten el mismo ADN, su perfil genético será idéntico, ya que coincidirán en todos los marcadores analizados. De modo que sería necesario analizar muchos marcadores para hallar una diferencia. Además, para realizar un análisis masivo del genoma, que implicaría analizar una gran cantidad de marcadores, se requieren técnicas especiales que no se aplican de manera habitual en la genética forense

La genetista menciona también, la limitación legal existente en términos del uso de ADN codificante para la investigación penal. Considera que, desde los laboratorios de investigación se trabaja para estandarizar cada vez más marcadores o formas de identificar rasgos físicos por medio de genética, salvaguardando la información que no debe ser encontrada, o al menos revelada. Así pues, critica que la legislación se encuentra desactualizada a este respecto y apunta que, una vez avanza la ciencia, la Ley debería hacer lo mismo, garantizando siempre la protección de los derechos fundamentales. Además, según las aportaciones de Vervaele et al. (2024), actualmente el uso de ADN codificante se encuentra regulado en las legislaciones de algunos países, como es el caso de Países Bajos. Lo que implica, que además de encontrarse desactualizada en comparación con los avances genéticos, también se encuentra atrasada en contraste con otras legislaciones europeas.

En conclusión, las pruebas genéticas, a pesar de su indiscutible exactitud y respaldo científico, no están exentas de limitaciones. Algunas de las aportaciones realizadas a este respecto han sugerido soluciones o propuestas para solventar la problemática de la que hablaban. Sin embargo, la solución a estas limitaciones depende de una colaboración conjunta entre las diversas instituciones involucradas. Es necesario crear una perspectiva global que pueda abordar de manera óptima cada una de estas limitaciones, a través de la colaboración entre disciplinas como la judicial, la genética, la forense, la policial y la gubernamental. Al trabajar en conjunto, se podrán desarrollar medidas y enfoques integrados que permitan superar las limitaciones y maximizar la eficacia de las pruebas genéticas en beneficio de la justicia y la investigación.

7 CONCLUSIONES

Una vez analizadas y desarrolladas todas las facetas del tema de investigación que ocupa este trabajo, se procede a detallar las conclusiones obtenidas al respecto:

En cuanto a la cadena de custodia se refiere podemos concluir que, esta es indispensable para conservar y gestionar debidamente los indicios de un crimen sexual, así como para garantizar la validez de estos como medio de prueba en el proceso penal.

En lo que respecta a la recogida de muestras se concluye lo siguiente: (i) La recogida de muestras en el cuerpo de la víctima conlleva una exploración física exhaustiva que deberá estar adaptada a las circunstancias y necesidades del caso concreto. (ii) La recogida de muestras indubitadas del agresor se realizará normal mente mediante hisopos pasados por la cavidad bucal. Normalmente se necesita el consentimiento del sospechoso, pero en el caso de una agresión sexual (un delito grave), el juez puede ordenar la ejecución forzosa de esta medida. (iii) La recogida de muestras en la escena (la cual es llevada a cabo por la policía científica) es esencial para conseguir muestras dubitadas de ADN. (iv) La debida preservación e integridad de las muestras se consigue a través de todos los protocolos y medidas que tomen al respecto los diferentes agentes implicados en el manejo de muestras (médicos forenses, policía, laboratorios...).

Con respecto al análisis de ADN en el laboratorio se puede concluir lo siguiente: (i) Los principales indicios biológicos extraídos de un delito sexual son: el semen, la saliva, y las células epiteliales sacadas de la ropa o de las uñas de la víctima en caso de que haya habido forcejeo. (ii) Una sustancia tan sensible como el ADN necesita de rigurosos protocolos de control, seguridad e higiene para evitar su alteración. (iii) El análisis de ADN conlleva múltiples fases: fase preliminar para identificar la procedencia de los restos biológicos; fase de extracción del ADN (p.e en delitos sexuales se realiza lisis diferencial); fase de cuantificación del ADN; fase de amplificación del ADN mediante PCR; y, por último, la secuenciación (la lectura de marcadores) del ADN que emite el perfil genético de una persona a través de un encefalograma. (iv) Aunque en ocasiones los análisis de ADNmt y cromosoma Y son de gran utilidad, siempre que sea posible se analizará el ADN autosómico, dado que es el único capaz de individualizar un perfil.

En cuanto a la interpretación de resultados de la prueba de ADN podemos concluir: (i) Aunque las pruebas genéticas pueden ofrecer datos objetivos y difíciles de

cuestionar, es importante tener en cuenta que están basadas en valores probabilísticos que requieren interpretación. Por lo tanto, para aprovechar al máximo la efectividad de estas pruebas, es crucial que los peritos y los jueces trabajen conjuntamente. (ii) El empleo de bases de datos de ADN se ha convertido en una valiosa herramienta para resolver casos sin autor conocido. No obstante, es crucial tener presente que una coincidencia de perfiles de ADN no es por sí sola una prueba concluyente de culpabilidad, ya que pueden intervenir otros factores como la contaminación o los falsos positivos.

Por lo que respecta al informe final, independientemente de su procedencia (de parte de un forense, o de un genetista), este debe reflejar de forma imparcial y organizada todas las actividades y procedimientos llevados a cabo por el profesional.

Por otra parte, la intervención de los peritos en el juicio oral consiste en la exposición y defensa del informe realizado, además de la contestación a cualquier pregunta que pueda surgir entre las partes. A este respecto, se ha dado a entender que la intervención por parte de los genetistas suele ser más rigurosa y objetiva, dado que su disciplina de conocimiento es únicamente la genética. Por su parte, los forenses tratan de ofrecer una visión más integral basada en información tanto del informe genético, como de otros informes presentados. De esta manera, son capaces de aportar conclusiones e inferencias importantes obtenidas de todas las pruebas en su conjunto.

En lo que respecta a la valoración de la prueba, se destaca que a pesar de la clara objetividad que ofrecen los resultados de una prueba de ADN, no se deben olvidar otros elementos circunstanciales del caso (p.e. el dilema del consentimiento en las agresiones sexuales). Así pues, se ha identificado la tendencia a sobreestimar el peso de las pruebas genéticas, y, por ello se advierte de la importancia de valorar todos los elementos que conforman el delito.

En cuanto a las ventajas de la realización de pruebas genéticas podemos destacar lo siguiente: (i) Se trata de una prueba objetiva cuyo alto poder de identificación está basado en términos probabilísticos respaldados científicamente por teorías genéticas. Dicho respaldo, le aporta todavía más fiabilidad como prueba. (ii) Se destaca, como ventaja adicional, la profesionalidad y el espíritu de mejora característicos de los profesionales del laboratorio.

Por lo que respecta a las limitaciones podemos concluir: (i) No se considera como una limitación la recogida de muestras más allá de las 72 horas transcurridas desde

el percance. (ii) Se considera como una limitación la coordinación y colaboración entre instituciones, dado que puede derivar en complicaciones y fallos de comunicación. (iii) Actualmente, la contaminación de las muestras sigue suponiendo una grave limitación para las pruebas genéticas; (iv) La gran demanda de trabajo y la falta de recursos es considerada como otra limitación.

Sobre otras posibles limitaciones podemos destacar: (i) El dilema del consentimiento en agresiones sexuales, dado que la prueba genética tiene poca utilidad en este contexto. (ii) Una limitación a baja escala sería la existencia de delincuentes con conciencia criminalística que intentan evadir la detección de ADN. (iii) Sobre interpretación de pruebas debido al desconocimiento de cómo funcionan las pruebas genéticas. (iv) Otra limitación a baja escala sería la de los gemelos idénticos, ya que se deben analizar una gran cantidad de marcadores y no se dispone habitualmente de estas técnicas en genética forense. (v) Supone una limitación el atraso legal en términos de uso de ADN codificante. (vi)

Por último, en lo que concierne a la innovación y las perspectivas de futuro se concluye lo siguiente: (i) Se puede conseguir la prevención de delitos mediante el registro del perfil genético de toda la población. (ii) La creación de un perfil fenotípico a través de ADN codificante. Así pues, mediante IA, se podría crear un retrato robot a partir de una muestra dubitada del presunto agresor. Se prevé que esta técnica contribuirá encarecidamente a la resolución de casos sin sospechoso en un futuro. (iii) La técnica de Análisis Multi Variable (MPS) destaca por su capacidad de análisis simultáneo de marcadores autosómicos, cromosoma Y, cromosoma X, mitocondrial, y otros marcadores puntuales. No obstante, todavía no se ha estandarizado lo suficiente. (iv) Por último, mencionar, no como una innovación técnica sino como un avance social, la creación de iniciativas comunitarias para contribuir de manera voluntaria con muestras de tu propio ADN.

8 CRONOGRAMA DE PLAN DE TRABAJO

FASES	ACTIVIDADES	SEMANAS											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Semana 11 y ss.	
Definir objeto de estudio y asentar bases de la investigación	Definir y seleccionar objeto de estudio												
	Realizar revisión bibliográfica exhaustiva sobre el tema considerando la literatura existente y las investigaciones previas relacionadas (Marco teórico)												
	Concretar y definir objetivos de la investigación												
Diseño y aplicación de la metodología de investigación (entrevistas)	Contactar con personas de interés para la investigación a las que realizar la entrevistar												
	Diseñar guiones de las diferentes entrevistas a realizar												
	Realizar entrevistas												
Recogida y análisis de datos	Transcripción de las entrevistas												
	Cotejar la información recopilada a través de las entrevistas con la información obtenida de la revisión bibliográfica.												
Redacción del Trabajo	Estructurar y redactar cada apartado del TFG: introducción, revisión de literatura, resultados, discusión y conclusiones												
	Revisar y corregir el trabajo dotándolo de organización y coherencia												
Revisión final y presentación	Realizar correcciones en base a los comentarios y sugerencias de la supervisora												
	Preparar exposición final TFG, incluyendo materiales visuales y práctica de la presentación oral												

9 INFORME EJECUTIVO

- **Objetivos e hipótesis de investigación**

Esta investigación consta de dos objetivos principales. El primero consiste en investigar y analizar el estado actual de las pruebas genéticas en España, específicamente en la resolución de crímenes sexuales. Así, se busca entender cómo se utilizan estas pruebas en la identificación y persecución de delitos sexuales, analizando cada fase del proceso.

El segundo objetivo es identificar y analizar las posibles limitaciones en el uso de la prueba de ADN en el proceso penal, especialmente en crímenes sexuales. Se plantean varias hipótesis sobre estas limitaciones:

H1: La recogida de muestras en el cuerpo de la víctima debe hacerse máximo 72 horas después de la agresión, de lo contrario, puede complicar la obtención de restos de ADN útiles.

H2: La colaboración y coordinación entre diversas instituciones (policía científica, médicos forenses, jueces, laboratorios) puede provocar complicaciones en la práctica, como malentendidos, falta de comunicación, y entorpecimiento del proceso penal.

H3: La contaminación y el deterioro de las muestras biológicas son una limitación importante para las pruebas de ADN, ya que pueden comprometer la fiabilidad y precisión de sus resultados.

H4: La gran carga de trabajo y la falta de recursos en el ámbito de las pruebas genéticas pueden causar limitaciones como la ralentización del proceso. La falta de personal especializado y recursos adecuados en los laboratorios forenses y en el sistema de justicia penal puede ser una limitación importante en la realización de pruebas genéticas, incluyendo las pruebas de ADN, en casos de crímenes sexuales.

Por otra parte, se ha elaborado una quinta hipótesis basada en la percepción personal de la investigadora al respecto de una problemática que podría surgir en un futuro próximo. De esta manera, se explica que, a partir de la aprobación de la ley 10/2022 (ley del “solo sí es sí”), se autoriza a los ginecólogos de urgencias para realizar el examen y recogida de muestras sobre el cuerpo de una víctima de agresión sexual. Mientras que, anteriormente, o bien lo realizaba el médico forense, o bien este tenía que estar presente

dando las indicaciones pertinentes. En base a este argumento, se ha planteado la siguiente limitación:

H5: La acreditación de los ginecólogos de urgencia para realizar la recogida de muestras a las víctimas puede provocar problemas debido a su falta de especialización y conocimiento al respecto. Esta nueva situación podría derivar en incertidumbre y conflictos que afecten a diversos procedimientos por delincuencia sexual.

No obstante, el hecho de que se trate de una situación relativamente reciente ha imposibilitado la comprobación de dicha hipótesis. De este modo, la investigadora ha tratado de aportar su visión analizando esta problemática como una limitación más que puede surgir en un futuro cercano a la hora de realizar pruebas de ADN en delitos sexuales.

- Metodología y desarrollo de la investigación

El presente trabajo está basado en los siguientes elementos: revisión bibliográfica, entrevistas y visita a un laboratorio. Este estudio se basa en una revisión bibliográfica exhaustiva, entrevistas con expertos y una visita a un laboratorio genético. La revisión bibliográfica se realizó consultando diversas fuentes académicas y científicas, utilizando palabras clave relacionadas con la genética forense y los crímenes sexuales. Se consultaron bases de datos académicas reconocidas y se seleccionaron estudios y publicaciones relevantes y actuales.

Por otro lado, para completar el estudio se consolidó una base empírica a través de una serie de entrevistas a profesionales y una visita a un laboratorio genético. Así pues, se realizaron cuatro entrevistas semiestructuradas a profesionales reconocidos en el ámbito de la medicina forense y la genética. Los entrevistados fueron el Dr. Guillermo Portero Lazcano, médico forense y psicólogo clínico; Francisco Etxeberría Gabilondo, profesor titular de Medicina Legal y forense; Marian Martínez de Pancorbo, Catedrática de Biología Celular y directora del Grupo de Investigación BIOMICs; e Iñaki Pradini Olazabal, Médico Forense y Psicólogo Clínico.

Asimismo, se realizó una visita in situ a un laboratorio genético en el Centro de Investigación Lascaray (Vitoria). Durante la visita, se observaron actividades relacionadas con la extracción, amplificación y análisis de muestras de ADN. Se recopiló información relevante sobre las metodologías utilizadas, los equipos empleados y los

controles de calidad implementados en el laboratorio. Además, obtuvo autorización para fotografiar las herramientas y equipos de interés y adjuntar las imágenes en el trabajo.

En resumen, la combinación de todos los elementos mencionados proporcionó una base sólida de conocimientos para realizar este trabajo. Así, los hallazgos de estas actividades consolidaron el marco teórico de la investigación y proporcionaron una visión práctica de los procesos detrás de las pruebas genéticas en crímenes sexuales.

- **Discusión de resultados con respecto al primer objetivo de investigación**

En cuanto al uso de pruebas genéticas en crímenes sexuales se han analizado las siguientes fases: (i) Cadena de custodia; (ii) Recogida de muestras; (iii) Análisis de ADN; (iv) Interpretación de resultados; (v) Informe final e intervención del perito en el juicio oral; (vi) Valoración de la prueba genética en el juicio.

(i) Con respecto a la cadena de custodia podemos señalar:

La cadena de custodia es esencial para garantizar el correcto procesamiento de las muestras y su efectividad en el proceso penal. Los entrevistados enfatizan la necesidad de un sistema bien protocolizado, con medidas como sobres sellados y etiquetas con fecha y hora de la toma de muestra. La trazabilidad de las muestras es crucial, registrando cada movimiento dentro del laboratorio forense y asignando un código único a cada muestra. Los documentos de cadena de custodia y las fotografías son herramientas importantes para documentar todas las etapas del proceso. Los médicos forenses entregan las muestras a los laboratorios firmando un documento de cadena de custodia, y los técnicos del laboratorio verifican la información al recibir las muestras. Todos los entrevistados reconocen la importancia de seguir protocolos y medidas específicas durante todas las fases de manipulación de las muestras para garantizar su integridad y su admisión como prueba en un proceso penal.

(ii) Con respecto a la recogida de muestras se ha conseguido esclarecer lo siguiente:

En cuanto a la recogida de muestras sobre el cuerpo de la víctima se destaca: la importancia de un examen forense riguroso y adaptado a cada caso es un tema recurrente en las entrevistas y la bibliografía consultada. El consentimiento de la víctima, el conocimiento detallado de los hechos y la recogida de información relevante a través de entrevistas son aspectos esenciales. Los procedimientos de recogida de muestras, que

incluyen la inspección de la ropa, el uso de hisopos y la toma de muestras en zonas de penetración, son similares entre los expertos entrevistados. Se destaca la mejora en los procedimientos de reconocimiento para las víctimas de agresiones sexuales, evitando múltiples reconocimientos y proporcionando un mayor apoyo y asistencia inmediata.

Por lo que respecta a la recogida de muestras sobre el cuerpo del agresor se reporta lo siguiente: la recogida de muestras del agresor es generalmente realizada por médicos forenses, aunque la policía también puede estar capacitada para hacerlo. El procedimiento comúnmente mencionado por los entrevistados es la toma de hisopos de la cavidad bucal, considerada una prueba razonable y proporcional. En algunos casos, si el agresor tiene una enfermedad de transmisión sexual que también se encuentra en la víctima, se trata como un indicio adicional. En delitos graves como la agresión sexual, si el sospechoso se niega a proporcionar muestras, el juez puede ordenar que se le haga la recogida de muestras a la fuerza.

Por otra parte, a cerca de la recogida de muestras en la escena de los hechos se concibe lo siguiente: en el ámbito forense, la recogida de muestras en la escena del crimen es responsabilidad de la policía científica. Estas muestras, que pueden incluir objetos con restos biológicos, son esenciales para los análisis de ADN.

Por último, a cerca de las medidas de preservación e integridad de la muestra se destaca: la preservación e integridad de las muestras es crucial. Los profesionales deben usar vestimenta estéril y cambiar de guantes frecuentemente para evitar contaminación. Se recomienda registrar el ADN de todos los que manipulan las muestras para rastrear posibles contaminaciones. La documentación detallada del proceso, incluyendo fotografías, es vital. Las muestras deben ser correctamente identificadas, etiquetadas y almacenadas para evitar confusiones y pérdidas. Tras los análisis de ADN, los resultados y las muestras deben ser registrados y almacenados adecuadamente, especialmente si se requieren futuros estudios.

(iii) Con respecto al análisis de ADN se ha obtenido la siguiente información:

En cuanto a los tipos de muestras que llegan al laboratorio para analizar se ha señalado lo siguiente: en crímenes sexuales, se analizan varias muestras biológicas en laboratorio. El semen, incluso en hombres azoospermicos o vasectomizados, es rico en ADN debido a las células epiteliales arrastradas por el líquido seminal. La saliva es relevante cuando no hay restos seminales. Es crucial examinar debajo de las uñas y la

ropa del agresor en busca de células epiteliales, especialmente en áreas de rozamiento. Así, estas muestras, que incluyen semen, saliva y células epiteliales, son los principales indicios biológicos en crímenes sexuales, según la literatura y la experiencia empírica.

En lo que respecta a las fases del análisis de ADN: el proceso incluye un diagnóstico genérico para identificar sustancias como sangre o semen y buscar restos epiteliales (Fase 1). Luego, se extrae el ADN usando técnicas específicas, como la lisis diferencial en casos de agresiones sexuales (Fase 2). Se cuantifica el ADN (Fase 3), se amplifica la región de interés con la técnica PCR (Fase 4) y se analizan los marcadores para obtener el perfil genético (Fase 5). Asimismo, se señala que estos procedimientos son estandarizados, permitiendo comparaciones precisas entre individuos y laboratorios de diferentes países.

Por último, en cuanto a los tipos de análisis de ADN utilizados destaca lo siguiente: los métodos de análisis genético más utilizados se basan en marcadores en el genoma nuclear (análisis autosómicos), excepto en los cromosomas sexuales. Por su parte, el ADN mitocondrial es útil cuando las muestras están degradadas o no contienen ADN nuclear. Asimismo, el análisis del cromosoma Y se utiliza en casos de agresiones sexuales para distinguir el ADN del agresor del de la víctima y cuantificar el número de agresores en una agresión múltiple. Sin embargo, estos análisis son complementarios al análisis del ADN autosómico, que es el más completo, dado que este es preferible para individualizar un perfil, mientras que el ADNmt y el cromosoma Y muestran linajes maternos y paternos, respectivamente.

(iv) Con respecto a la interpretación de resultados podemos señalar:

Las pruebas de ADN pueden arrojar resultados positivos o negativos, indicando la presencia o ausencia de información genética en una muestra. Sin embargo, una coincidencia de perfiles genéticos no implica necesariamente una coincidencia con una persona específica. A este respecto, el cálculo estadístico y probabilístico es crucial en la genética forense, proporcionando un coeficiente de verosimilitud que representa la probabilidad de que la muestra corresponda a un individuo específico. Aunque las pruebas de ADN actuales tienen una alta precisión, con una baja probabilidad de que otro individuo tenga el mismo perfil genético, eso no implica que estén sujetas a interpretación dependiendo de las circunstancias y el resto de los hechos probados durante el juicio oral. De esta manera, La interpretación de los resultados forenses en el contexto de la

investigación es esencial. Los peritos deben utilizar su experiencia y conocimiento para realizar deducciones relevantes y contribuir al esclarecimiento de la verdad.

En cuanto al uso de bases de datos de ADN se ha destacado que son de gran utilidad en casos donde no se tiene sospechoso conocido, pero sí se cuenta con ADN obtenido de las muestras de la escena o la víctima. Sin embargo, de nuevo, una coincidencia de perfiles no garantiza la culpabilidad, ya que puede haber explicaciones alternativas como la contaminación o los falsos positivos. De este modo, se destaca la necesidad de verificar y confirmar las coincidencias mediante pruebas adicionales antes de proceder legalmente. Asimismo, es importante evaluar estadísticamente el valor probatorio del ADN, teniendo en cuenta el número de marcadores que se han podido analizar (cuanto mayor sea el número de marcadores, mayor valor probatorio).

- (v) Al respecto del informe final y la intervención del perito en el juicio oral se ha recabado lo siguiente:

El informe pericial es crucial y debe ser objetivo, claro y preciso. En el caso de los médicos forenses, este debe incluir todas las actividades realizadas por el perito, como el reconocimiento físico y psicológico de la víctima, pruebas realizadas y toma de muestras. Por su parte, los genetistas deberán registrar el procedimiento, herramientas, programas utilizados en el análisis de ADN, cálculos estadísticos y bases de datos de frecuencias de variantes de ADN. De esta manera, se asegura la reproducibilidad de los resultados en caso de contrapericia.

Durante el juicio oral, los médicos forenses y genetistas actúan como peritos, defendiendo y explicando su informe de manera razonada. Asimismo, se les puede solicitar que interpreten los resultados y respondan a todas las preguntas que puedan surgir entre las partes intervinientes. A este respecto, el lenguaje utilizado debe ser comprensible, evitando tecnicismos, aunque se pueden explicar cuando sean necesarios. Por un lado, los profesionales del laboratorio se centran en proporcionar datos objetivos, enfatizando en la clara separación de las interpretaciones y los resultados obtenidos. Mientras que, por parte del médico forense se destaca su papel como integrador de la información genética con otros aspectos relevantes del caso. Es decir, estos pueden realizar interpretaciones de los resultados objetivos, llegando en ocasiones a actuar como intermediarios entre los genetistas y los jueces, transmitiendo información de forma sencilla.

- (vi) Al respecto de la valoración de la prueba genética en el juicio se ha esclarecido lo siguiente:

Cuando se obtiene una identificación genética positiva después de que el acusado niega los hechos, la prueba genética suele adquirir un peso determinante. También se señala que las pruebas genéticas adquieren un peso considerable en un juicio debido a su objetividad y respaldo científico. Sin embargo, es necesario tener presente que la prueba de ADN establece una conexión, pero no proporciona una identificación directa de la participación en el delito. Por ello es importante considerar todas las posibilidades, interpretaciones e hipótesis. Por otra parte, se advierte de la inclinación por parte de los jueces a sobreestimar la prueba de ADN cuando no se comprende su funcionamiento. En este sentido, se destaca que las opiniones periciales pueden influir en la decisión final del juez, de modo que es importante respaldar y relacionar los indicios de manera clara. De esta manera, si se reconoce que las pruebas científicas, incluida la prueba de ADN están sujetas a interpretaciones y no son infalibles, se podrá evitar la sobrevaloración de la misma.

Además de haber repasado las fases que intervienen en la realización de pruebas genéticas en crímenes sexuales, también se han tenido en cuenta otros aspectos como: (i) las ventajas que ofrece el uso de este tipo de pruebas en comparación con otras pruebas forenses; (ii) y, las perspectivas de futuro existentes acerca del uso de estas pruebas para la resolución de crímenes, particularmente crímenes sexuales.

- (i) Con respecto a las ventajas del uso de pruebas genéticas se ha recabado lo siguiente:

Una de las ventajas más destacables de las pruebas genéticas es su poder de identificación y su objetividad. Además, estas pruebas se encuentran estandarizadas y son realmente confiables, ofreciendo escaso margen de error. A diferencia que otros tipos de pruebas de índole forense, en las pruebas genéticas los resultados pueden ser concluyentes y están basados en cálculos probatorios sólidos, respaldados científicamente. En lo que respecta al ámbito de los delitos sexuales, las pruebas genéticas son especialmente relevantes y aportan garantías adicionales a la justicia, dado que, en muchos casos, suponen el único medio de prueba a parte del testimonio de la víctima. Por último, se destaca como una ventaja adicional, la mejora continua de los laboratorios forenses, lo

que se atribuye al alto nivel de entusiasmo y dedicación del personal, contribuyendo a la calidad y seriedad del trabajo forense.

- (ii) Al respecto de las perspectivas de futuro sobre el uso de pruebas genéticas, se ha esclarecido lo siguiente:

Se sugiere la posibilidad de registrar el perfil genético de todos los ciudadanos como una medida preventiva para identificar a los agresores y prevenir futuras reincidencias. Una de las técnicas innovadoras que más se ha mencionado es la creación de perfiles fenotípicos a través del ADN codificante para resolver crímenes sexuales. A este respecto, se destaca la creación de un retrato robot a partir del ADN encontrado en evidencias, lo cual puede orientar investigaciones en casos sin testigos ni sospechosos. Por otra parte, también menciona la técnica de análisis multivariable MPS como una herramienta que proporciona datos adicionales sobre ancestralidad y lazos de parentesco en casos delictivos. Por último, se llega a plantear la importancia de la colaboración ciudadana en la recolección masiva de muestras de ADN, que ha demostrado ser útil para la resolución de casos.

Finalmente, se completaría el primer objetivo de este trabajo, a través del cual se pretende ofrecer una visión amplia y fundamentada sobre el estado actual de la utilización de pruebas genéticas para la resolución de crímenes sexuales en España.

- Discusión de resultados con respecto al segundo objetivo de investigación

En lo que al segundo objetivo se refiere, la comprobación de las hipótesis planteadas servirá para definir algunas de las posibles limitaciones a las que están sujetas las pruebas de ADN.

Se puede concluir que H1 ha sido refutada. La información proporcionada a través de la fundamentación teórica y empírica indica que los avances y el desarrollo de nuevas herramientas y tecnologías han permitido que la recogida de muestras sea efectiva más allá de las 48 horas tradicionalmente consideradas, e incluso más allá de las 72 horas, dependiendo del caso.

Por su parte, H2 se ha visto confirmada. Dado que, a excepción de una persona entrevistada, todas han referido encontrar limitaciones e inconvenientes expresados de forma diferente, en alguno de los ámbitos que requieren de colaboración o coordinación entre distintas instituciones.

Se concluye que H3 ha sido confirmada. En este sentido, tanto desde la perspectiva empírica, como de la perspectiva teórica se han mencionado las diferentes formas de contaminación de las muestras biológicas que pueden afectar negativamente a la realización de pruebas de ADN.

Por último, también se concluye que H4 ha sido confirmada. Puesto que, cada uno de los entrevistados ha mencionado, al menos, un argumento que sugiere la presencia de una carga de trabajo elevada y la falta de recursos, así como una falta de optimización de los recursos disponibles.

En definitiva, salvo la demora en la recogida de muestras, se considera que el resto de las situaciones planteadas pueden suponer una limitación para las pruebas genéticas, generando complicaciones que impiden su correcto desempeño y les resta valor en el proceso penal.

Asimismo, otro tipo de limitaciones que pueden surgir al aplicar pruebas de ADN son: (i) el dilema del consentimiento como una limitación en las pruebas genéticas en casos de agresiones sexuales, donde, si el debate se centra en determinar si ha habido consentimiento, las pruebas genéticas tienen poca utilidad. (ii) La limitación de los delincuentes que intentan evadir la detección mediante métodos para evitar dejar rastro de ADN. (ii) También se resalta, de nuevo, la sobre interpretación de las pruebas como un error común, resaltando la importancia de comunicar adecuadamente las limitaciones de las pruebas a los jueces para evitar malentendidos.

- **Conclusiones**

Para terminar, cabe una recapitulación de las reflexiones finales a las que se ha llegado a través del presente trabajo de investigación:

- Es muy importante mantener la cadena de custodia a lo largo de todas las fases de manipulación de las muestras, siguiendo protocolos y medidas específicas que ayuden a garantizar su integridad y su admisión como prueba en un proceso penal.
- El consentimiento de la víctima, el conocimiento detallado de los hechos y la recopilación de información relevante a través de una entrevista inicial son aspectos esenciales, en la recogida de muestras.
- Las pruebas de ADN proporcionan datos objetivos, pero están sujetas a interpretación y análisis probabilístico. La correcta comunicación de los

resultados y su comprensión en el contexto de la investigación son fundamentales para maximizar la utilidad de esta prueba tan efectiva.

- Las bases de datos de ADN son herramientas importantes en investigaciones policiales sin sospechoso. Sin embargo, se debe tener precaución al interpretar las coincidencias de perfiles genéticos y realizar evaluaciones estadísticas para respaldar las conclusiones.
- El informe final es esencial en la investigación, garantizando la ordenada documentación de las actividades y pruebas realizadas para contribuir al esclarecimiento de los hechos.
- Los peritos aportan una visión completa y comprensible del informe genético para el tribunal y las partes involucradas en el juicio oral.
- Las pruebas genéticas son una herramienta objetiva y confiable en la investigación criminal, con un alto nivel de estandarización y precisión, lo que contribuye a la credibilidad y seriedad del trabajo forense.
- Aunque las pruebas genéticas ofrecen objetividad, su peso en un juicio debe ser evaluado junto con otros elementos y circunstancias del caso. Se advierte sobre la sobreestimación y se destaca la importancia de valorar todos los elementos que conforman el delito y, las posibles limitaciones que comprenden este tipo de pruebas.
- En cuanto a las perspectivas de futuro sobre el uso de ADN, no solo se plantean técnicas innovadoras en lo que respecta a su análisis, sino también ideas o iniciativas de carácter social que implicarían una completa transformación del uso y la concepción del ADN como sociedad.

10 BIBLIOGRAFÍA

Alcoceba Gil, J.M. (2018). *El análisis genético forense en el proceso penal español*. Tirant lo Blanch.

Aldana Solorio, R. (2018). La cadena de custodia como elemento rector en el manejo del material de prueba. *Revista electrónica EXLEGE*, (2), 7-14. Recuperado de: https://www.lasallebajio.edu.mx/revistas/exlege/pdf_2/revista_exlege-02.pdf (Consultado en abril 2023)

Aler Gay, M. Carrasco Lozano, F. Lorente, J.A. Prieto Ruíz-Canela M.V. & Rivas San Martín, E. (2000) *Recomendaciones para la recogida y envío de muestras con*

finis de Identificación Genética. Recuperado de: <https://ghep-isfg.org/es/publications/guides-and-recommendations/> (Consultado en abril 2023)

Alfaro, L. G. (2011). Derecho fundamental a la prueba. Garantía constitucional de naturaleza procesal. En *Manual del Código Procesal Civil*. *Gaceta Jurídica*, 69-95.

Alonso Alonso, A. (2004). Conceptos básicos del ADN forense. *Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses: Servicio de biología, Madrid, 1860-1971*.

Álvarez-Buján, M.V. (2017). La prueba de ADN en el proceso penal: sus entresijos desde la óptica del ejercicio de la abogacía. *Teorder*, 22, 158-172.

Álvarez Buján, M.V. (2018). *La prueba de ADN como prueba científica: su virtualidad jurídico-procesal*. Tirant lo Blanch.

Barona, S., Esparza, I., Etxeberria, J.F., Gómez, J.L., Martínez, E. & Planchadell, A. (2022). *Proceso penal: Derecho Procesal III*. (2º. Ed.) Tirant lo blanch.

Cabezudo Majo, M. J. (2012). Regulación del uso forense de la tecnología del ADN en España y en la UE: identificación de cinco nuevas cuestiones controvertidas. *Revista General de Derecho Procesal*, 26. Recuperado de: https://www.iustel.com/v2/revistas/detalle_revista.asp?id_noticia=411310&d=1 (Consultado en abril 2023)

Calabuig, G. (2004). *Medicina legal y Toxicología* (E, Villanueva, Ed.) (6ª ed.). MASSON.

Carracedo, A. Alonso, A. Gill, P. Kayser, M. Phillips, C. Prieto, L. Schneider, P. Sydercombe Court, D. Wienroth, M. & Williams, R. (2019). *Interpretando la Genética Forense: ¿Qué puede revelar el ADN sobre el Delito?*

Carracedo, A. (2014). ADN: la genética forense y sus aplicaciones en investigación criminal. *La prueba de ADN en el proceso penal* (pp. 339-366). Tirant lo Blanch.

Comisión Nacional para el Uso Forense del ADN (CNUFADN). (2023). *Actividades 2020-2021*. Ministerio de Justicia.

- Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid. (2022). *Protocolo de asistencia sanitaria urgente y coordinada a mujeres víctimas de violencia sexual en la Comunidad de Madrid (Código VISEM)*.
- Contreras-Pérez, M. & Santoyo-Pizano, G. (2018). Pruebas forenses moleculares: del ADN a la identidad de la persona. *Milenaria, Ciencia y Arte*, 8(3), 9-11.
- Del Pozo Pérez, M. (2012). Algunas cuestiones polémicas sobre el ADN y el proceso penal. *Revista general de derecho público comparado*, (10).
- Entrala, C. (2000). Técnicas de Análisis del ADN en Genética Forense. Recuperado de: <https://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/forensetec.htm> (Consultado en abril 2023).
- Fernández de Simón, L. & Alonso, A. (2014). Estándares de toma de muestras con intervención corporal para estudios de genética forense. *Boletín Galego de Medicina Legal e Forense*, (20).
- Fernández Rodríguez, M. A. (2020). Pautas para la toma de muestras en las agresiones sexuales. *Servicio de Biología del Instituto Nacional de Toxicología: la investigación multidisciplinar de las agresiones sexuales en los laboratorios forenses*.
- Figuroa Navarro, M. C. Álvarez de Neyra Kappler, S. Del Amo Rodríguez, A. & Barroso Villareal, G (2015). *La cadena de custodia en el proceso penal* (Ser. Colección de ciencias jurídicas y forenses). Edisofer.
- Flores Calvo, R. Paredes Miranda B.J. & Asmat Ortega, C.D. (2021). Pericia genética: valoración y fiabilidad de la prueba de ADN en criminalística y en el proceso penal. *Revista Derecho & Sociedad*, (57), 1-19. Recuperado de: <https://doi.org/10.18800/dys.202102.006> (Consultado en abril 2023)
- Grupo de Habla Española y Portuguesa de la International Society for Forensic Genetics (GHEP-ISFG). (2001). *Guía para implementar un sistema de calidad de los laboratorios en Genética Forense*. Recuperado de: <https://ghep-isfg.org/es/publications/guides-and-recommendations/> (Consultado en abril 2023)

- Guardia Civil (s.f). *Información institucional: Criminalística*. Recuperado de: <https://www.guardiacivil.es/es/institucional/Conocenos/especialidades/InvestigacionCientifica/index.html> (Consultado en abril 2023)
- Hombreiro Noriega, L. (2013). *El ADN de locard: genética forense y criminalística* (1ª ed.). Reus.
- Iglesias Canle, I.C. (2003). *Investigación penal sobre el cuerpo humano y prueba científica*. Colex, 2003.
- Kamodyová N, Durdiaková J, Celec P, Sedláčková T, Repiská G, Sviežená B, Minárik G. (2013) Prevalence and persistence of male DNA identified in mixed saliva samples after intense kissing. *Forensic Science International: Genetics*, 7(2013), 124-128. DOI: [10.1016/j.fsigen.2012.07.007](https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2012.07.007)
- Khalidi N, Miras A, Botti K, Benali L, Gromb S. (2004). Evaluation of three rapid detection methods for the forensic identification of seminal fluid in rape cases. *Journal of Forensic Sciences*, 49(4), 749-53. DOI: [10.1520/JFS2003317](https://doi.org/10.1520/JFS2003317)
- LabGenetics: Laboratorio de Genética Clínica S.L (s.f.). *Detección de fluidos biológicos: semen, saliva y sangre*. Recuperado de: <https://www.labgenetics.es/pruebas-de-adn-e-identificacion-genetica/deteccion-de-fluidos-biologicos/> (Consultado en abril 2023).
- Leintz, R. What is the Chain of Custody? - Definition, Procedures & Importance. (2016, February 27). Disponible en: <https://study.com/academy/lesson/what-is-the-chain-of-custody-definition-procedures-importance.html> (Consultado en abril 2023)
- López Valera, M. (2016). Localización, hallazgo y recogida de muestras de ADN en la cadena de custodia. *Revista de Derecho UNED*, 19, 777-807
- Lopez Valera, M. (2018). *La cadena de custodia de las pruebas de ADN*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Educación a Distancia]. Disponible en: <https://portalcientifico.uned.es/documentos/5f63fc8e29995274fc8e8f2f> (Consultado en abril 2023).
- Magalhaes, T., Dinis-Oliveira, R. J., Silva, B., Corte-Real, F. & Nuno Vieira, D. (2015). Biological Evidence Management for DNA Analysis in Cases of Sexual Assault.

The Scientific World Journal, 2015(365674), 2-11. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/365674> (Consultado en abril 2023).

Ministerio de Justicia. (2018). *Actuación en la Atención a Menores víctimas en los Institutos de Medicina Legal y Ciencias Forenses*. Disponible en: <https://cpage.mpr.gob.es/producto/actuacion-en-la-atencion-a-menores-victimas-en-los-institutos-de-medicina-legal-y-ciencias-forenses-implcf/> (Consultado en abril 2023)

Ministerio de Justicia. (2021). *Protocolo de actuación médico-forense ante la violencia sexual en los Institutos de Medicina Legal y Ciencias Forenses*. Disponible en: <https://cpage.mpr.gob.es/producto/protocolo-de-actuacion-medico-forense-ante-la-violencia-sexual-en-los-institutos-de-medicina-legal-y-ciencias-forenses/> (Consultado en abril 2023)

Ministerio de Justicia (s.f). *¿Qué es el INTCF?* Disponible en: <https://www.mjusticia.gob.es/es/institucional/organismos/instituto-nacional/intcf> (Consultado en abril 2023)

Nieva, J. (2010). *La Valoración de la Prueba*. Marcial Pons.

Office on Violence Against Women. (2013). *A National Protocol for Sexual Assault Medical Forensic Examinations* (NCJ 228119). U.S Department of Justice. Recuperado de: <https://www.ojp.gov/pdffiles1/ovw/228119.pdf> (Consultado en abril 2023).

Pellegrino, D. J. A. & Crespillo-Márquez, M. (2021). El genoma humano y el desarrollo del a genética forense. *Revista de la Asociación Médica Argentina*, 134(2), 21-25.

Pifarré Rubbel, A. (2022). Flujo de trabajo y toma de decisiones en el laboratorio de biología del departamento de Barcelona del INTCF. *El abordaje de los casos de agresiones sexuales en el contexto del laboratorio de Genética forense*.

Pifarré Rubbel, A. (2021). El informe pericial biológico II: Pruebas orientativas. Consideraciones Científico-Legales. Interpretación de la valoración estadística. *Servicio de Biología del Instituto Nacional de Toxicología: Interpretación de dictámenes periciales en el ámbito de la Medicina Legal*.

- Policía Nacional (s.f.). *Comisaría general de Policía Científica*. Disponible en: https://www.policia.es/_es/tupolicia_conocenos_estructura_dao_cgpoliciajcientifica.php (Consultado en abril 2023)
- Portin, P. (2014) The birth and development of the DNA theory of inheritance: sixty years since the discovery of the structure of DNA. *Journal of Genetics*, 93(1).
- Prieto Solla, L. (2004) Aplicaciones Forenses del ADN. *Estudios jurídicos* (n.º 2004), 1872-1889.
- Prieto, L. & Carracedo, A. (2013). La valoración estadística de la prueba de ADN para juristas en Cabezudo Bajo, M.J (Coord.), *Las bases de datos policiales de ADN. ¿Son una herramienta realmente eficaz en la lucha contra la criminalidad grave nacional y transfronteriza?* (pp. 277-297). Dykinson.
- Promega (s.f). *Forensic DNA Analysis: Massively Parallel Sequencing Workflows*. Disponible en: <https://www.promega.es/products/forensic-dna-analysis-mps/#related-resources> (Consultado en abril 2023).
- Quesada, C. & López, J. (2019). Historia de la identificación personal: desde el reconocimiento facial hasta el ADN dental. *Revista Biociencias: revista de la Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Alfonso X el Sabio*, 14(1), 2-19.
- Soletto, H. (2016). *Garantías y Errores en la Investigación penal. Ciencia Versus Memoria*. (1ª ed.). Tirant lo blanch.
- Vargas Ávila, R. (2010). La valoración de la prueba científica de adn en el proceso penal. *Prolegómenos. Derechos y Valores*, XIII(25), 127-146.
- Vervaele J.A.E. De Graaf, F.C.W. & Tielemans, N. (2014). El enfoque neerlandés En el tratamiento del ADN en el Sistema de Justicia Penal. Gómez Colomer, J.L (Coord.). *La prueba de ADN en el proceso penal* (pp. 419-445). Tirant lo Blanch.
- Villalobos Rangel, H. Lo que se debe saber acerca de... Las pruebas de ADN en el contexto forense. (2017). *Revista de Ciencias Forenses de Honduras*, 3(2), 28-38.

11 LEGISLACIÓN UTILIZADA Y JURISPRUDENCIA

- Constitución Española. BOE núm. 311, del 29 de diciembre, 1978. [https://www.boe.es/eli/es/c/1978/12/27/\(1\)/con](https://www.boe.es/eli/es/c/1978/12/27/(1)/con)

Tratado de Prüm: Instrumento de ratificación de España del Convenio relativo a la profundización de la cooperación transfronteriza, en particular en materia de lucha contra el terrorismo, la delincuencia transfronteriza y la migración ilegal, hecho en Prüm el 27 de mayo de 2005. BOE núm. 307, de 25 de diciembre de 2006.

[https://www.boe.es/eli/es/ai/2005/05/27/\(1\)](https://www.boe.es/eli/es/ai/2005/05/27/(1))

Ley Orgánica 10/2022, del 6 de septiembre, de garantía integral de la libertad sexual.

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-14630>

Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal. BOE núm. 281, de 24/11/1995. <https://www.boe.es/eli/es/lo/1995/11/23/10/con>

Ley 41/2002, de 14 de noviembre, básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica. BOE núm 274, 15 de noviembre de 2002.

<https://www.boe.es/eli/es/l/2002/11/14/41/con>

Real Decreto de 14 de septiembre de 1882 por el que se aprueba la Ley de Enjuiciamiento Criminal. Gaceta de Madrid núm. 260, de 17/09/1882.

[https://www.boe.es/eli/es/rd/1882/09/14/\(1\)/con](https://www.boe.es/eli/es/rd/1882/09/14/(1)/con)

Orden JUS/1291/2010, de 13 de mayo, por la que se aprueban las normas para la preparación y remisión de muestras objeto de análisis por el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses. BOE; 19 de mayo de 2010.

<https://www.boe.es/eli/es/o/2010/05/13/jus1291/con>

Decisión 2008/615/JAI del Consejo, de 23 de junio de 2008, sobre la profundización de la cooperación transfronteriza, en particular en materia de lucha contra el terrorismo y la delincuencia transfronteriza. DUOE núm 210, del 6 de agosto de 2008.

STS 827/2011 (Sala de lo Penal, Sección 1ª) de 25 octubre, 2019. CENDOJ:

<https://www.poderjudicial.es/search/documento/TS/5883549/tributario/2011031>

[7](#)

STS 200/1980 (Sala de lo social), 8 de noviembre de 1980 (recurso 56069). Vlex:

<https://vlex.es/vid/-76729200>