

PERSONAS DESAPARECIDAS, ANÁLISIS FORENSE DE ADN E IDENTIFICACIÓN DE RESTOS HUMANOS

Guía sobre prácticas idóneas en caso de conflicto
armado y de otras situaciones de violencia armada
Segunda edición, 2009



CICR



CICR

Comité Internacional de la Cruz Roja
19, Avenue de la Paix
1202 Ginebra, Suiza
T + 41 22 734 60 01 **F** + 41 22 733 20 57
shop@icrc.org www.icrc.org
© CICR, julio de 2010

PERSONAS DESAPARECIDAS, ANÁLISIS FORENSE DE ADN E IDENTIFICACIÓN DE RESTOS HUMANOS

**Guía sobre prácticas idóneas en caso de conflicto
armado y de otras situaciones de violencia armada
Segunda edición, 2009**

PREFACIO

Los conflictos armados, como la guerra u otras situaciones de violencia armada generalizada, suelen traer consigo la desaparición de numerosas personas. Esas personas pueden haber desaparecido durante desplazamientos forzados, o encontrarse detenidas y privadas del contacto con sus amigos o familiares; otras pueden ser militares “desaparecidos en acción” o víctimas de masacres. Cualquiera sea el motivo de su desaparición, la falta de noticias de sus seres queridos, sumada a la incertidumbre acerca de su paradero, causan sufrimientos indecibles a los familiares afectados.

En estas situaciones, es frecuente que las personas desaparecidas hayan muerto. El único alivio para los familiares es recibir una confirmación fidedigna de la muerte y saber que los restos de sus seres queridos han sido o pueden ser tratados con dignidad y con respeto por su cultura y sus creencias religiosas. Por ello, la recuperación y la identificación adecuadas de los restos humanos es parte fundamental del proceso de reparación no sólo para los familiares de personas desaparecidas, sino para comunidades enteras.¹

La evolución de la ciencia forense y, en particular, de la genética forense mediante el análisis de ADN, ha permitido que muchas familias de personas desaparecidas conozcan el paradero de sus seres queridos desaparecidos, como así también que los restos de las personas desaparecidas fallecidas sean identificados y entregados a sus familiares. Antes de que hiciera su aparición el análisis de ADN, uno de los elementos que se utilizaban en los programas de identificación humana era la hemogenética forense, técnica que se aplicó particularmente en Argentina durante la década de 1980. Sin embargo, dichos estudios pioneros

1 Un estudio del CICR sobre las personas desaparecidas y sus familiares hizo hincapié en este aspecto del problema. En 2002 y 2003, se celebró una serie de reuniones con la participación de expertos internacionales con experiencia en muchos contextos distintos. Dos de las reuniones se centraron en la función de la ciencia forense. El presente documento se basa en las recomendaciones dimanadas de esas reuniones y en las experiencias adquiridas posteriormente. Véase CICR, *Las personas desaparecidas y sus familiares - Documentos de Referencia*, CICR, Ginebra, 2004. Disponible en www.cicr.org/spa (consultado el 3 de mayo de 2010).

eran complejos, costosos y carecían del alcance y las facilidades que ofrece hoy en día el análisis forense de ADN. Durante los últimos años, la capacidad de recuperar y analizar cantidades minúsculas de ácido desoxirribonucleico (ADN) a partir de material biológico ha revolucionado la ciencia forense. Desde que se produjo el primer perfil de ADN con fines forenses, en 1984, el análisis forense de ADN evolucionó de manera impresionante: ahora es más sensible, preciso, económico y veloz. La misma tecnología que permite comparar las muestras recuperadas en la escena de un crimen con las de un sospechoso puede utilizarse para determinar la correspondencia entre los restos humanos y los familiares biológicos de personas desaparecidas.

Inicialmente, a principios de la década de 1990, el análisis de ADN se utilizaba para identificar a una o a unas pocas personas, normalmente como respaldo de presuntas identificaciones logradas mediante otros métodos. Ahora, se usa sistemáticamente como ayuda para identificar a decenas o centenas de personas, por ejemplo las víctimas de accidentes de tránsito, y se aplica cada vez más en la identificación de las víctimas de los conflictos armados y de otras situaciones de violencia.

Las directrices para la gestión de los restos humanos en contextos posteriores a los conflictos y a los desastres se encuentran recogidas en otras publicaciones del CICR o producidas con su asistencia^{2,3}. En esta guía, se ofrece una reseña del proceso de identificación de restos humanos por medios forenses y del uso del análisis forense de ADN en programas de identificación de pequeña y gran escala. Además, se presentan algunos consejos prácticos sobre la selección, recolección y conservación de material biológico para fines de identificación mediante el análisis de ADN, y se reseñan los aspectos éticos y jurídicos que se han de tener en cuenta al utilizar los análisis de ADN con fines forenses.

2 CICR, *Prácticas operacionales idóneas en relación con el tratamiento de los restos humanos y la información sobre los fallecidos para personal no especializado*, CICR, Ginebra, 2004. Disponible en www.cicr.org/spa (consultado el 3 de mayo de 2010).

3 Morgan, O., Tidball-Binz, M. y van Alphen, D., editores, *La gestión de cadáveres en situaciones de desastre: Guía práctica para equipos de respuesta*, Organización Panamericana de la Salud, Washington D.C., 2006. Disponible en <http://publications.paho.org/product.php?productid=894> (consultado el 3 de mayo de 2010).

En esta edición nueva y ampliada de *Personas desaparecidas, análisis forense de DNA e identificación de restos humanos: Guía sobre prácticas idóneas en caso de conflicto armado y de otras situaciones de violencia armada*, se incorporan las experiencias adquiridas por la comunidad forense durante los últimos años⁴. Esta publicación se preparó en respuesta a la recomendación de un panel de expertos convocado por el CICR en mayo de 2008 para examinar el uso del ADN en la identificación de restos humanos, con el propósito de proporcionar una respuesta más eficaz a las necesidades operacionales determinadas por el CICR.

El CICR desea agradecer al Dr. William Goodwin, profesor de Genética Forense, Escuela de Ciencias Forenses y de la Investigación, Universidad de Central Lancashire, Gran Bretaña, por su ayuda en la redacción de esta nueva edición, así como a los distinguidos expertos en genética forense que gentilmente revisaron el texto para su publicación: el Dr. John M. Butler, Fellow del NIST y del Grupo de Genética Aplicada, Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST), Estados Unidos; el profesor Ángel Carracedo, director del Instituto de Medicina Forense, Facultad de Medicina, Santiago de Compostela, España; el Dr. Cristián Orrego, Criminólogo Principal, Laboratorio de ADN Jan Bas-hinski, Departamento de Justicia, Estado de California, Estados Unidos; y los doctores Michael Wysocki, profesor superior de Antropología Forense, y Tal Simmons, profesor de Antropología forense, ambos de la Escuela de Ciencias Forenses y de la Investigación, Universidad de Central Lancashire, Gran Bretaña.

El Dr. Robin Coupland, del CICR, quien ayudó a compilar la edición anterior de esta guía, también contribuyó a preparar esta publicación.

Dr. Morris Tidball-Binz
 Coordinador Forense
 División de Asistencia
 Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR)

⁴ Prinz, M. y otros, Comisión de ADN de la Sociedad Internacional de Genética Forense, "Recommendations regarding the role of forensic genetics for disaster victim identification", *Forensic Science International: Genetics*, N.º 1, 2007, págs. 3-12.

ÍNDICE

Prefacio	3
Capítulo 1. Introducción a la identificación forense de restos humanos	9
1.1 Identificación visual y basada en otros medios habituales	10
1.2 Comparación sistemática de datos <i>ante mortem</i> y <i>post mortem</i>	11
1.3 Medios científicos/objetivos	12
Capítulo 2. El ADN y la identificación de restos humanos	15
2.1 Análisis forense de ADN estándar	15
2.1.1 Repeticiones en tándem cortas (Short Tandem Repeats o STR)	16
2.2 ADN mitocondrial	17
2.3 Cromosomas sexuales	18
2.4 Polimorfismos de nucleótido único (SNP)	18
Capítulo 3. Uso del análisis forense de ADN en la identificación de restos humanos múltiples en entornos posteriores a conflictos armados u otras situaciones de violencia armada	19
3.1 El análisis forense de ADN como respaldo de presuntas identificaciones	19
3.2 Programas de identificación que utilizan bases de datos	21
3.3 Recomposición de restos humanos	25
3.4 Cooperación entre múltiples interesados	26
Capítulo 4. Aspectos técnicos de la recolección y conservación de material biológico	27
4.1 Cadena de custodia	27
4.2 Recolección de restos humanos para la realización de análisis forenses de ADN	28
4.2.1 Recolección de tejidos blandos	28
4.2.2 Recolección y conservación de material óseo	30
4.3 Recolección de muestras de referencia para realizar análisis forenses de ADN	32
4.3.1 Familiares biológicos	33
4.3.2 Pertenencias biológicas de personas desaparecidas	36
Capítulo 5. Garantía y control de calidad en los análisis de ADN	37
Capítulo 6. Cuestiones éticas y jurídicas relacionadas con el uso del ADN en la identificación de restos humanos	39
6.1 Protección de información personal y genética: principios generalmente aceptados	40
6.2 Consentimiento informado	43
Anexo A: Publicaciones relacionadas con la extracción y conservación de ADN de tejidos humanos	45
Anexo B: Valor estadístico de los familiares biológicos en la identificación de restos humanos	47
Anexo C: Modelo de árbol genealógico para las fichas de recolección de material biológico de familiares de personas desaparecidas	48

1. INTRODUCCIÓN A LA IDENTIFICACIÓN FORENSE DE RESTOS HUMANOS

Las investigaciones forenses de restos humanos que se realizan tras un conflicto armado u otras situaciones de violencia¹ persiguen dos objetivos. El primero es recuperar y examinar los restos con el fin de efectuar investigaciones criminológicas que permitan establecer la causa y la manera del deceso; el segundo es identificar los restos y, si es posible, devolverlos a los familiares de la persona fallecida². Este segundo objetivo ayuda a los miembros de la familia, puesto que esclarece lo que sucedió con la persona fallecida, y les permite tratar los restos de una manera culturalmente apropiada y realizar el duelo. Ninguno de los dos objetivos tiene prioridad sobre el otro, y los especialistas forenses tienen la obligación de tratar de cumplir con ambos. Cabe subrayar que no deberían generarse antagonismos entre estos objetivos.

La identificación se define como “la individualización mediante la atribución de un nombre de nacimiento u otro nombre apropiado a los restos humanos”. La identificación es un proceso en el que se aplican uno o más de los medios que se exponen a continuación.

1 Los términos “conflicto armado y otras situaciones de violencia armada” se refieren a los acontecimientos que ocurren durante o después de:

- **conflictos armados internacionales y conflictos armados no internacionales**, conforme a las definiciones contenidas en los Convenios de Ginebra de 1949 y sus Protocolos adicionales de 1977; y
- **situaciones de violencia interna**, esto es, disturbios interiores (tensiones internas) y situaciones que exigen la intervención de una institución y de un intermediario específicamente neutrales e independientes, de conformidad con los *Estatutos del Movimiento Internacional de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja*, artículo 5(2)(d) y 5(3), adoptados por la XXV Conferencia Internacional de la Cruz Roja en Ginebra, en octubre de 1986, y modificados por la XXVI Conferencia Internacional de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja celebrada en diciembre de 1995.

2 V. “*Restos humanos y ciencias forenses, Taller electrónico, 02.2002 - 03.2002; Restos humanos: derecho, ética y política, 23.05.2002 - 24.05.2002 y Restos humanos: gestión de los restos humanos y de la información sobre los muertos, 10.07.2002 - 12.07.2002, Talleres: Informe final y conclusiones*”. Disponible en www.cicr.org/spa (consultado el 3 de mayo de 2010).

1.1 Identificación visual y basada en otros medios habituales

Normalmente, este método consiste en mostrar los restos a los familiares o a conocidos de las personas desaparecidas. También es posible efectuar identificaciones presuntas sobre la base de documentos personales o de placas de identidad, así como mediante la documentación de los acontecimientos, por ejemplo los informes de testigos oculares. La identificación visual, así como la basada en otros medios habituales, tiene varios aspectos importantes:

- Es posible que sea la única opción práctica.
- El riesgo de efectuar identificaciones erróneas es considerable.
- Cuando los muertos son numerosos, el riesgo de efectuar identificaciones erróneas se acrecienta sustancialmente.
- El riesgo de efectuar identificaciones erróneas es sustancialmente mayor cuando se reúnen muchos cadáveres en el mismo lugar y se exponen a los familiares, quienes inevitablemente sufren diversos grados de conmoción.
- Los métodos visuales o tradicionales deberían utilizarse como único medio de identificación sólo cuando los cuerpos no están descompuestos ni mutilados, y cuando se tiene una idea fundamentada de la identidad de la víctima, por ejemplo cuando hay testigos que han presenciado el asesinato y el entierro de una persona.
- Antes de utilizar el método de la identificación visual, es preciso evaluar los efectos traumáticos que el procedimiento puede tener en los familiares y tener presente que el impacto de la observación puede afectar adversamente el juicio de un familiar que intenta realizar la identificación.
- Es posible recoger muestras biológicas de los familiares y del cadáver con miras a realizar los análisis forenses de ADN en el futuro. Las muestras se pueden utilizar para confirmar o refutar una identificación más adelante, cuando resulte posible efectuar el análisis de ADN. Este método, si bien es

conveniente, puede resultar muy difícil de ejecutar sobre el terreno (véase la sección 4).

1.2 Comparación sistemática de datos *ante mortem* y *post mortem*

El reconocimiento visual, las pruebas conexas (como los objetos personales), y la documentación de los acontecimientos (como los informes de testigos oculares), pueden facilitar la identificación presunta en casos individuales. Esas identificaciones suelen ser poco fiables y, siempre que sea posible, conviene fundamentarlas mediante la comparación de los datos *ante mortem* con la información recopilada durante el examen *post mortem*. La identificación puede luego confirmarse mediante “datos duros” adicionales, como el estado clínico y las fracturas anteriores al deceso. Esa identificación puede ser equivalente a la identificación efectuada por medios “científicos” (véase más adelante) en cuanto al grado de certeza. Sin embargo, el número de datos “blandos” (como el sexo, la altura o la edad) que se requiere para realizar una identificación concluyente queda librado al juicio subjetivo del investigador; por esta razón, es difícil establecer una práctica uniforme.

- Hay formularios normalizados que se utilizan para la recolección de datos *ante mortem* y *post mortem*. En casos de catástrofes masivas, habitualmente se utiliza el sistema de identificación de víctimas de catástrofes de INTERPOL³, que funciona con el apoyo del programa informático Plass Data⁴. Los formularios de INTERPOL se elaboraron para utilizarlos en la identificación de víctimas de catástrofes, y son apropiados en el caso de restos humanos que no estén en avanzado estado de descomposición. Sin embargo, no necesariamente son adecuados para registrar detalles de restos humanos hallados en la época posterior a un conflicto, los cuales generalmente están en avanzado estado de descomposición o están formados por restos óseos.

3 Formularios de identificación de víctimas de catástrofes de INTERPOL (1997) (disponibles en www.interpol.int/Public/DisasterVictim/guide/GuideEs.pdf (consultado el 3 de mayo de 2010).

4 Véase <http://www.plass.dk/> (consultado el 3 de mayo de 2010).

- El CICR ha elaborado unos formularios que se utilizan en situaciones posteriores a conflictos. Asimismo, se ha desarrollado un programa informático de apoyo que permite comparar entre sí múltiples registros de datos *ante* y *post mortem*.
- Sin identificadores científicos “duros”, hay considerables riesgos de realizar identificaciones erróneas, esto es, declarar incorrectamente que una identificación presunta es una identificación efectiva.
- Al igual que en el caso de la identificación visual, el riesgo de efectuar una identificación errónea es sustancialmente mayor a medida que aumenta el número de personas fallecidas, a menos que se utilicen medios científicos/objetivos.
- Las comprobaciones “blandas” son importantes para corroborar las identificaciones científicas/objetivas (véase más abajo).

1.3 Medios científicos/objetivos

Cada uno de los siguientes medios, que integran el proceso de recolección de datos *ante mortem* y *post mortem*, permite efectuar una identificación con alto nivel de certidumbre, la cual, en la mayoría de los contextos jurídicos, se consideraría una identificación fuera de toda duda razonable.

- Comparación de radiografías dentales *post mortem* y *ante mortem*.
- Comparación de huellas digitales *post mortem* y *ante mortem*.
- Comparación de muestras de ADN de los restos humanos con muestras de referencia (véase la sección 4).
- Comparación de otros identificadores únicos, como rasgos físicos o médicos, con inclusión de radiografías del esqueleto y de prótesis quirúrgicas o implantes numerados.

Las categorías de identificación enumeradas precedentemente no siguen forzosamente ese orden pero, por lo general, a medida que aumentan las dificultades en la identificación, se comienza por 1.1 y se avanza hacia 1.3 (véase la figura 1).

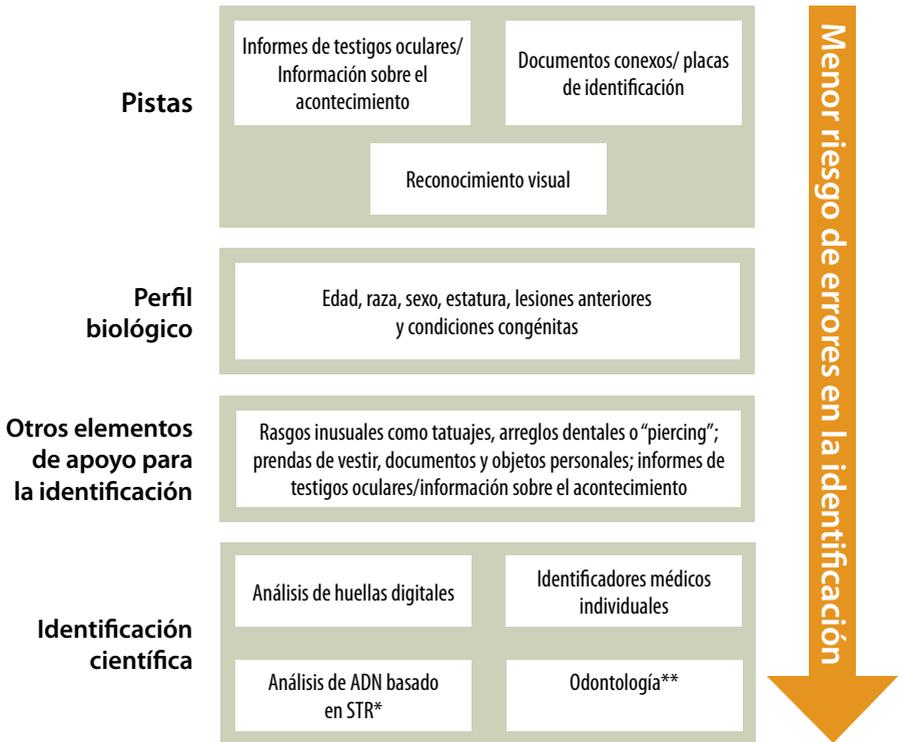


Figura 1 En todos los casos posibles, la identificación obtenida mediante el reconocimiento visual u otros medios habituales debería estar respaldada por la comparación de datos *ante mortem* y *post mortem*, a fin de permitir la realización del perfil biológico y la recolección de pruebas adicionales que apoyen la identificación. Idealmente, las identificaciones deben estar respaldadas por al menos una forma de identificación científica, lo cual reduce en gran medida la posibilidad de efectuar una identificación errónea.

* El análisis de ADN basado en polimorfismos de nucleótido único también puede proporcionar una identificación científica, pero su uso no está difundido. La sección 2 contiene una reseña de los diferentes métodos de análisis de ADN.

** Normalmente, la identificación científica basada en la odontología requiere la comparación y la coincidencia de características dentales únicas.

En la práctica, el investigador puede tropezar con múltiples limitaciones que obstaculicen la identificación de restos humanos en situaciones de conflicto, como la falta de seguridad para el personal, la incapacidad de establecer sistemas que garanticen la continuidad de las pruebas, la falta de voluntad y la escasez de recursos. Esas limitaciones pueden restringir o incluso imposibilitar la aplicación de tecnologías más sofisticadas.

Un elemento clave que deben tener presente los agentes que intervienen en esta actividad, incluso el personal no forense, es la necesidad de realizar correctamente la recuperación y el tratamiento tanto de los restos humanos como de las pruebas relacionadas con cada caso⁵.

En algunas situaciones, es posible que las normas forenses aplicadas no sean las óptimas. Esto no le resta nivel ético a la práctica⁶, pero, si las normas para establecer la identificación presunta no son suficientemente estrictas, en cierto punto del proceso, el potencial daño representado por los intentos de identificación o por el riesgo de hacer identificaciones erróneas, supera los potenciales beneficios. Otro aspecto clave es el cumplimiento, en toda circunstancia, de los principios relativos a las normas de las prácticas de laboratorio, incluida la protección de los datos personales y genéticos.

Durante los últimos años, las técnicas utilizadas para identificar restos humanos se han expandido y perfeccionado; por otra parte, la aparición de tecnologías basadas en el análisis de ADN las ha hecho más complejas. Cuando es factible analizar, comparar y, en última instancia, determinar coincidencias entre el ADN de personas desaparecidas con el ADN de los familiares, es posible probar la identidad de los restos humanos fuera de toda duda científica y jurídica razonable. A la inversa, el análisis de ADN también puede demostrar la inexistencia de la relación de parentesco.

5 Oficina de las Naciones Unidas contra las Drogas y el Delito (UNODC), *Crime Scene and Physical Evidence Awareness for Non-forensic Personnel*, UNODC, Nueva York, 2009 (disponible en www.unodc.org).

6 V. "Restos humanos y ciencias forenses, Taller electrónico, 02.2002 - 03.2002; Restos humanos: derecho, ética y política, 23.05.2002 - 24.05.2002 y Restos humanos: gestión de los restos humanos y de la información sobre los muertos, 10.07.2002 - 12.07.2002, Talleres: Informe final y conclusiones". Disponible en www.cicr.org/spa (consultado el 3 de mayo de 2010).

2. EL ADN Y LA IDENTIFICACIÓN DE RESTOS HUMANOS

El ADN es útil para la identificación de restos humanos y en las investigaciones criminológicas por varios motivos: cada persona posee un ADN único, que permanece constante a lo largo de toda su vida y que sigue las leyes mendelianas de la herencia. El ADN de un niño está formado por partes iguales del ADN de sus padres. El ADN puede analizarse con miras a producir un perfil que permita efectuar una comparación fiable con otros perfiles; puede recuperarse y analizarse a partir de muestras biológicas diminutas, como manchas de sangre o incluso un solo cabello; y, en comparación con las proteínas, es una molécula resistente, cuya degradación en los tejidos duros —como huesos y dientes— es muy lenta, lo que permite recuperarla de muestras biológicas viejas, siempre que las condiciones ambientales hayan sido favorables.

2.1 Análisis forense de ADN estándar

El genoma humano, que contiene 3.200 millones de pares de base, se encuentra físicamente situado en 23 pares de cromosomas (22 pares de cromosomas autosómicos y un par de cromosomas sexuales X/Y). Esos cromosomas se hallan en el núcleo de la célula; de allí el término “ADN nuclear”. Cada célula de una persona contiene dos copias de cada cromosoma, salvo los espermatozoides y los óvulos, que contienen sólo una copia. Una excepción a esta regla son los glóbulos rojos de la sangre, que no contienen ADN nuclear.

El análisis de ADN realizado para identificar restos humanos es un proceso que comprende cinco pasos:

- Recuperación (recolección, conservación y extracción) de ADN de los restos humanos.
- Recuperación de ADN, con fines de comparación, de los

familiares de la persona desaparecida o de fuentes como cabellos, manchas de saliva u otro material biológico que se sepa haya pertenecido a la persona desaparecida y que sea anterior a su desaparición.

- Generación de un perfil de ADN tanto a partir de los restos humanos como de las muestras de referencia.
- Comparación de los perfiles de ADN.
- Decidir el grado de coincidencia compatible con el grado de parentesco que se invoca entre la persona fallecida y el familiar (u otro material de referencia), si existen otras pruebas.

El análisis del ADN nuclear extraído de la sangre fresca, del frotis bucal (mejilla) o de las muestras de tejido es rápido y fácil, siempre que las condiciones de conservación previas al análisis hayan sido adecuadas. Anteriormente, era difícil extraer ADN nuclear adecuado de restos óseos, pero, gracias a los rápidos avances tecnológicos de los últimos años, ahora es posible recuperar ADN de restos óseos frescos y, cuando las condiciones de conservación son adecuadas, también de material óseo de varios años de antigüedad.

La coincidencia más sólida se logra cuando es posible obtener ADN nuclear de buena calidad a partir de materiales biológicos como cabellos o saliva dejados por la persona desaparecida antes de morir, lo que permite efectuar la comparación directa con los restos, o cuando es posible acceder a varios familiares cercanos para realizar las pruebas. No es fácil utilizar el ADN nuclear para realizar comparaciones con parientes que no sean familiares cercanos. La comparación óptima es la que se realiza entre hijos y padres.

2.1.1 Repeticiones en tándem cortas (Short Tandem Repeats o STR)

En la mayor parte de las tareas forenses, sólo se utiliza una porción minúscula del ADN total. El genoma contiene regiones denominadas repeticiones en tándem cortas (en adelante,

“STR”, por sus siglas en inglés), que varían ampliamente de una persona a otra. Tras analizar 15 o más de estas regiones hipervariables del ADN, que están situadas en los cromosomas autosómicos (no sexuales), el perfil resultante puede utilizarse para verificar las relaciones familiares con un alto grado de fiabilidad. El análisis de STR no siempre tiene resultados satisfactorios cuando se analizan restos humanos degradados. Para mejorar la tasa de éxito cuando se trabaja con restos humanos degradados, se desarrolló la técnica de los mini STR, que pueden proporcionar resultados utilizando ADN degradado.

En algunos casos, no es posible generar un perfil STR a partir de los restos humanos; en otros, se puede generar un perfil, pero es posible que no haya una muestra de referencia adecuada con la cual comparar ese perfil y alcanzar una coincidencia. Para intentar superar algunos de estos problemas, pueden emplearse tecnologías alternativas, como el perfil de ADN mitocondrial, el perfil de polimorfismo de nucleótido único, y el perfil STR sobre cromosomas sexuales (los cromosomas X e Y).

2.2 ADN mitocondrial

El ADN mitocondrial es una pequeña cadena circular de ADN que contiene solamente 16.569 pares de base. Reside dentro de las organelas generadoras de energía de la célula, denominadas mitocondrias. La ventaja de esta técnica de análisis radica en que el ADN mitocondrial se encuentra presente en múltiples copias dentro de la célula, por lo cual es más fácil recuperarlo en el caso de restos que no están adecuadamente conservados.

El ADN mitocondrial se hereda únicamente de la madre. Esto significa que los restos de una persona pueden compararse con muestras de la madre, la abuela materna, un hermano, tías o tíos maternos, o incluso con familiares más lejanos, siempre que pertenezcan a la línea de herencia materna. Si bien esta característica facilita la adquisición de muestras de referencia,

también significa que la evaluación de este tipo de evidencia ha de realizarse con mucha prudencia, ya que puede resultar difícil evaluar la validez de la coincidencia.

2.3 Cromosomas sexuales

Los seres humanos tienen dos tipos de cromosomas sexuales, el cromosoma X y el cromosoma Y. Los hombres normales poseen un cromosoma X y un cromosoma Y, y las mujeres normales dos cromosomas X.

Es posible analizar un panel de STR situado en el cromosoma Y a fin de comparar los restos de la persona fallecida con sus parientes de sexo masculino. Esta técnica puede ser de utilidad cuando no hay parientes cercanos, porque permite utilizar muestras de cualquier miembro de la línea paterna, con inclusión de hermanos, tíos y primos varones por parte de padre, para realizar la comparación. Como sucede con el ADN mitocondrial, la coincidencia que se determina con los marcadores del cromosoma Y no es tan sólida como la que ofrece el perfil de ADN estándar, porque el perfil del cromosoma Y no es único, sino que pueden compartirlo personas que no sean más que parientes lejanos. En algunos casos especiales, también pueden ser de utilidad los perfiles STR sobre el cromosoma X.

2.4 Polimorfismos de nucleótido único (SNP)

Los polimorfismos de nucleótido único (Single Nucleotide Polymorphisms, o SNP) han demostrado su valor como marcadores genéticos valiosos en los análisis forenses. En ciertos casos —por ejemplo, cuando el ADN que se analiza está severamente degradado— los SNP son el único polimorfismo de ADN que permite realizar un análisis adecuado.

3. USO DEL ANÁLISIS FORENSE DE ADN EN LA IDENTIFICACIÓN DE RESTOS HUMANOS MÚLTIPLES EN ENTORNOS POSTERIORES A CONFLICTOS ARMADOS U OTRAS SITUACIONES DE VIOLENCIA ARMADA

Aunque las autoridades y las partes en un conflicto armado tienen la responsabilidad de informar a los familiares lo que se hizo con los cuerpos de sus seres queridos, a menudo ni las unas ni las otras tienen la voluntad de hacerlo. Cuando se recuperan restos humanos, puede utilizarse la ciencia forense para identificarlos, determinar lo que sucedió con esas personas y entregar los restos a sus familiares. La eficacia y, por ende, la conveniencia de utilizar los análisis de ADN como parte de un programa de identificación varía en función de las circunstancias de cada caso.

3.1 El análisis forense de ADN como respaldo de presuntas identificaciones

Tras la identificación presunta de un conjunto de restos humanos, es imprescindible intentar aportar pruebas adicionales de su identidad, utilizando, idealmente, por lo menos una forma de identificación científica (véase la figura 1). El análisis de ADN es uno de esos métodos de identificación. Para realizar un análisis de ADN, es necesario seguir los pasos que se enumeran a continuación:

- Obtener muestras de ADN de los restos humanos.
- Obtener muestras de ADN tomadas de la persona desaparecida antes de su desaparición, o de sus familiares biológicos (padres o hijos y, en algunos casos, hermanos). Es aconsejable tomar muestras de más de un familiar, porque esa precaución reforzará la validez o significación estadística de las coincidencias logradas. Es aconsejable extraer la muestra de ADN de referencia mientras se realiza la entrevista en la cual se obtienen los datos *ante mortem*.
- Comparar y evaluar el grado de la compatibilidad entre el ADN de los restos y el ADN de las muestras de referencia.

Si existe en el país un laboratorio de ADN que trabaje de conformidad con normas aceptables (véase la sección 5), ese laboratorio debería ser capaz de realizar análisis de ADN de las muestras de referencia de los familiares, puesto que en este caso se utilizan procesos iguales o similares a los aplicados en los casos de rutina. La extracción de ADN de los restos humanos, especialmente óseos, puede presentar más complicaciones y exigir la aplicación de métodos diferentes¹. La comparación de perfiles de ADN extraídos de restos humanos con los de las muestras de referencia es una tarea que la mayoría de los laboratorios debería ser capaz de hacer, ya que el proceso se basa en los mismos principios que las pruebas de paternidad. Sin embargo, la comparación de numerosos restos humanos con múltiples muestras de referencia es una tarea mucho más complicada que una sencilla prueba de paternidad.

Cuando es necesario aplicar técnicas más avanzadas para analizar las muestras, el laboratorio puede incorporarlas mediante la adquisición de nuevos equipos o puede externalizar el análisis de ADN a un laboratorio especializado en esas técnicas. Si el trabajo no se puede realizar en el país, las muestras pueden ser enviadas a otro país para efectuar los análisis, en cuyo caso se requiere un marco jurídico, procesal y logístico especial que contemple, en particular, el transporte, la conservación y la cadena de custodia de las muestras.

1 Véase el Anexo A.

3.2 Programas de identificación que utilizan bases de datos

Los programas de identificación que utilizan bases de datos comparan los identificadores tomados de restos humanos individuales, como huellas digitales, datos *ante y post mortem*, y ADN, con una base de datos que contiene identificadores a nivel de la población. Existen programas informáticos especiales que, explorando las bases de datos de la población, permiten encontrar posibles coincidencias². Esas coincidencias son presuntas y requieren la realización de otros análisis antes de poder considerarlas identificaciones científicas. La estrategia de identificación en la que se utiliza una base de datos de perfiles de ADN para buscar coincidencias se denomina “programa de identificación basado en ADN”.

Si bien es difícil obtener identificaciones, sobre todo en situaciones posteriores a conflictos armados, es técnicamente posible iniciar un programa de identificación basado en ADN. La escala de los programas basados en la comparación de ADN puede abarcar desde un incidente local con pocas víctimas, hasta programas destinados a identificar a decenas de miles de individuos. Los dos programas basados en la comparación de ADN más importantes hasta la fecha han ayudado a identificar a miles de personas muertas en los Balcanes entre 1991 y 2000, y a aproximadamente 1.700 personas que murieron en los atentados cometidos contra el World Trade Center en Nueva York, Estados Unidos, en septiembre de 2001.

Las muestras de referencia directa, es decir, los perfiles de ADN generados a partir de las propias personas desaparecidas, proporcionan coincidencias estadísticamente válidas cuando se comparan con los perfiles de ADN procedentes de restos humanos, y deberían usarse en todos los casos posibles. Sin

2 Entre esos programas figuran los siguientes: Automated Fingerprint Identification System (AFIS) (Sistema automático de identificación de huellas digitales), para búsquedas en bases de datos de huellas digitales; Combined DNA Index System (CODIS) (Sistema combinado de indexación de ADN), M-FISys, MDKAP y DNAView, para búsquedas en bases de datos de ADN; y el sistema Plass Data de INTERPOL DVI y la base de datos AMD/PMD del CICR, para búsquedas en bases de datos *ante mortem* y *post mortem*.

embargo, a menudo no se cuenta con ese material de referencia directa. En tal caso, se analizan las muestras de referencia tomadas de los familiares y se las compara con los perfiles de ADN procedentes de los restos humanos, a fin de detectar compatibilidades. En la mayoría de los casos, esas coincidencias exigen evaluaciones complementarias, en las que se analiza material de otros miembros de la familia, para evaluar su significación estadística. A fin de reducir las posibilidades de efectuar identificaciones erróneas, las coincidencias encontradas deben respaldarse en otras pruebas, como la comparación de datos *ante mortem* y *post mortem*, información sobre los acontecimientos, y pertenencias personales (figura 2).

En los programas de identificación basados en la comparación de ADN de pequeña escala, es decir, los aplicados a un número reducido de individuos, el proceso es muy similar al sistema que utiliza el ADN para confirmar identificaciones presuntas. Sin embargo, cuando el programa de identificación se aplica a centenares o incluso a miles de individuos no identificados, es preciso tener en cuenta algunos factores adicionales:

- Al utilizar un programa basado en la comparación de ADN para la identificación de restos humanos, es necesario ponderar los siguientes aspectos en relación con el tamaño y el costo del programa: la proporción de personas que hay probabilidades de recuperar; la proporción de restos de los cuales se puede generar un perfil de ADN; y la proporción de personas desaparecidas respecto de las cuales se puede obtener un número suficiente de muestras de referencia tomadas de familiares.
- El beneficio esperado del programa, es decir, la posibilidad objetiva de obtener identificaciones, debería superar el costo adicional y la complejidad de una estrategia basada en la comparación de ADN.

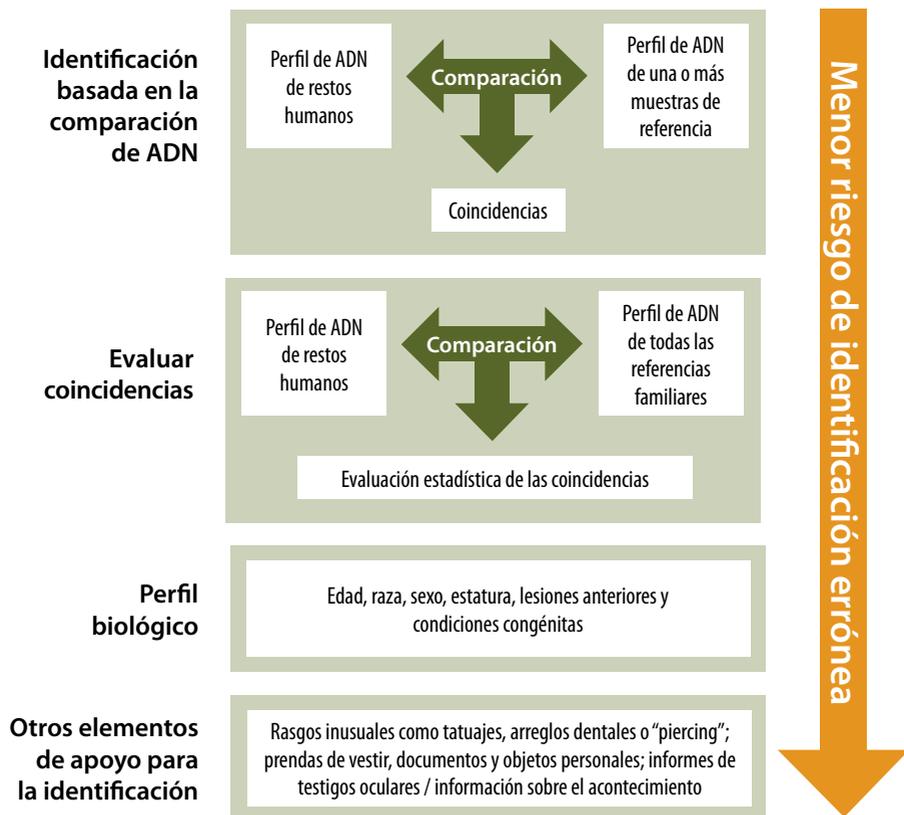


Figura 2 La identificación mediante la comparación de ADN se basa en las coincidencias obtenidas entre los perfiles de ADN generados a partir de los restos humanos y los perfiles obtenidos de los familiares de las víctimas. Las coincidencias generadas mediante la comparación de bases de datos se deben evaluar usando todos los perfiles de referencias familiares disponibles, a fin de ponderar la significación estadística de una coincidencia. La posibilidad de efectuar una identificación errónea se reduce si los resultados de las comparaciones pueden validarse mediante el perfil biológico y otras formas de identificación.

- El procesamiento de centenares o miles de muestras de restos humanos, tarea no exenta de dificultades, supera la capacidad de la mayoría de los laboratorios. Por ende, tal vez resulte necesario ampliar las instalaciones existentes o externalizar el trabajo.
- En relación con el punto anterior, conviene prever las repercusiones desfavorables de la actividad en los servicios jurídicos y forenses preexistentes. Por ejemplo, la implantación de un programa de este tipo puede alejar a los expertos del servicio forense local y restarle capacidad para encarar los casos criminales cotidianos.
- En el caso de programas de gran escala, es aconsejable fijar niveles de garantía y control de calidad muy elevados, a fin de evitar los complejos problemas que generan los errores en la gestión y el procesamiento de las muestras (incluida la cadena de custodia), así como en la generación, interpretación y comparación de perfiles de ADN.
- Los programas de identificación de gran escala que se inician en situaciones posteriores a conflictos u otros contextos de violencia se extienden por muchos años antes de llegar a su fin, y raras veces logran identificar a todas las personas desaparecidas. Es imprescindible explicar este hecho a los familiares de los desaparecidos, a las autoridades que realizan el trabajo y a las autoridades y organizaciones que lo financian.
- La introducción de los análisis de ADN en un programa de identificación en cuyo marco se han utilizado medios de identificación no científicos podría revelar la existencia de identificaciones erróneas anteriores, por lo cual se aconseja prever el modo de encarar los errores de identificación que se descubran.
- Es imprescindible que, en el marco de la evaluación de las coincidencias, se tengan en cuenta los elevados números de comparaciones que se realizan y, por ende, la posibilidad de que se produzcan coincidencias fortuitas.
- Es necesario contar con programas informáticos para comparar los perfiles de los familiares y de los restos humanos (véase la sección 3.2). Este proceso de compara-

ción trasciende las actividades normales de casi todos los laboratorios forenses. Como sucede con todos los otros procesos, es preciso validar la técnica de comparación para comprobar su solidez.

- En el caso de identificaciones erróneas presuntas o comprobadas, es conveniente que las solicitudes de reexaminar restos previamente identificados con miras a realizar análisis de ADN, que presenten los gobiernos y las organizaciones o los particulares interesados, se resuelvan caso por caso.
- Es conveniente establecer una “estrategia de retirada” que permita cerrar el proceso cuando su costo y su complejidad superen los beneficios que aportan a la sociedad.

3.3 **Recomposición de restos humanos**

Cuando los restos óseos están muy fragmentados o desarticulados y se encuentran mezclados con los elementos óseos de otras personas, es posible combinar el uso del análisis de ADN —siempre que sea posible realizar la extracción y efectuar el perfil del ADN de manera satisfactoria— con otros métodos forenses, como los análisis morfológicos del esqueleto, para ayudar a reagrupar los elementos. La recomposición de restos humanos:

- Permite devolver a los familiares un número mayor de restos físicos, lo cual puede ser muy importante desde el punto de vista cultural.
- Junto con los análisis antropológicos, puede ayudar a determinar el número mínimo de personas cuyos restos están mezclados.

Es conveniente contar con las estrategias necesarias para abordar el problema de los restos parciales y mezclados. Por ejemplo: ¿se identificarán todos los restos humanos recuperados, o sólo los que constituyen partes reconocibles del cuerpo, o los tejidos de cierto tamaño?

3.4 Cooperación entre múltiples interesados

Cuando en un proceso de identificación se prevea la intervención de distintas partes, que posiblemente trabajen en países diferentes y con marcos jurídicos diversos, conviene pactar acuerdos previos sobre los siguientes aspectos:

- La logística necesaria para la manipulación de las muestras, con inclusión de la recolección, la conservación, el transporte y la cadena de custodia de las mismas.
- Un órgano de coordinación general encargado de la recolección y etiquetado de las muestras, así como de su transporte y análisis. En ausencia de tal órgano, habría que determinar con anticipación quién realizará esas actividades y la forma de hacerlo, teniendo en cuenta las respectivas competencias de los participantes.
- Protocolos para el análisis del material y mecanismos para comparar los resultados.
- Criterios utilizados para determinar una identificación.
- Cuestiones relacionadas con la propiedad, el transporte y la distribución final de los restos (repatriación).
- Datos generados a partir de los restos humanos y de las muestras. Esos datos deben manipularse de conformidad con las normas que rigen la protección de los datos personales y de los restos humanos. Esas normas abarcan la protección de los datos *ante mortem*, de las muestras de ADN y de los resultados (véase la sección 6).

4. ASPECTOS TÉCNICOS DE LA RECOLECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE MATERIAL BIOLÓGICO

La condición indispensable para efectuar una identificación utilizando la técnica del análisis de ADN es que el material biológico sea extraído y analizado a partir de:

- los restos humanos y de
- los familiares de la persona desaparecida o de
- muestras biológicas dejadas por la persona desaparecida, en la forma de muestras médicas u otras pertenencias biológicas.

4.1 Cadena de custodia

Uno de los principios fundamentales de la labor forense es la utilización de procedimientos que garanticen que las pruebas recolectadas se protejan mediante una cadena de custodia segura y sólida. El mismo principio se aplica a los programas en los cuales la identificación de restos humanos se realiza en beneficio de los familiares y no para utilizarla en procesos judiciales. La interrupción de la cadena de custodia puede causar que se devuelvan a los deudos unos restos que no sean los de su familiar. La cadena de custodia debe basarse, entre otras cosas, en el etiquetado sistemático de todas las pruebas y en la documentación adecuada que demuestre “el orden de los lugares donde estaban situadas las pruebas físicas y las personas en cuya posesión se encontraron desde el momento en que se recogieron hasta su presentación en juicio”¹. En la identificación de restos humanos, las pruebas pueden presentarse en procedimientos jurídicos diferentes de los juicios; sin embargo, en ambos casos, si la cadena de custodia no es segura y sólida, la admisibilidad de las pruebas puede verse afectada.

1 Wild, S.E., ed., *Webster's New World Law Dictionary*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, Nueva Jersey, 2006.

4.2 Recolección de restos humanos para la realización de análisis forenses de ADN

Tras la muerte de una persona, su ADN comienza a degradarse y a disgregarse en pequeños fragmentos. Si la degradación del ADN es extensa, el análisis se hace muy difícil e incluso imposible. La degradación depende en gran medida de lo que sucede con el cuerpo después de la muerte, puesto que los ambientes cálidos y húmedos son particularmente destructivos para el ADN, mientras que los fríos y secos ayudan a preservarlo.

4.2.1 Recolección de tejidos blandos

En la mayoría de las condiciones, el ADN presente en los tejidos blandos se degrada con gran rapidez. Sin embargo, cuando los restos humanos se recuperan poco tiempo después de la muerte, es posible tomar muestras de los tejidos blandos para realizar el análisis de ADN.

- Para poder utilizarlos en el análisis de ADN, los tejidos blandos deben recuperarse cuanto antes después del fallecimiento. Es aconsejable que las autoridades encargadas de esta función cuenten con procedimientos de extracción de muestras claramente definidos y que el personal forense/médico reciba la formación adecuada para realizar esta tarea.
- El ADN puede preservarse en el tejido muscular. El período de tiempo durante el cual el ADN está presente en el tejido muscular depende de las condiciones ambientales: en climas cálidos, la putrefacción y la consiguiente desintegración del ADN pueden comenzar en unas pocas horas, mientras que en climas más fríos, es posible recuperar el ADN del tejido muscular durante varios días y, en algunos casos, mucho tiempo después de la muerte.
- Para generar un perfil de ADN, sólo se necesitan cantidades pequeñas de tejido muscular. En las directrices publicadas, se recomienda tomar una muestra de músculo

de 1 gramo². En la mayoría de los casos, 100 mg de tejido (equivalentes a un cubo de 3-4 mm) proporcionan una cantidad de ADN más que suficiente para el análisis.

- Siempre que sea posible, las muestras deben tomarse de los tejidos profundos, ya que los músculos superficiales pueden estar contaminados por el contacto con el ADN de otros cuerpos.
- En todos los casos posibles, se ha de tomar una segunda muestra de otras partes del cuerpo que no muestren signos visibles de putrefacción o descomposición.
- Las muestras de tejido muscular deben conservarse en condiciones que impidan la ulterior degradación del ADN. El método más sencillo para conservar tejidos es congelarlos a -20°C (si se dispone de las instalaciones necesarias, los tejidos conservados a -80°C se mantendrán más estables). Si no es posible garantizar la conservación continua a temperaturas bajo cero, es preferible almacenar las muestras a 4°C por períodos breves, ya que los ciclos de congelamiento-descongelamiento aceleran la descomposición del ADN.
- Una forma alternativa y sencilla para la conservación de tejidos consiste en mantenerlos en etanol al 95%; también se pueden utilizar soluciones tampón de conservación comerciales. El uso simultáneo de alcohol y tampones de conservación reduce la necesidad de refrigeración³.
- Siempre que sea posible, es aconsejable tomar las muestras en condiciones controladas, para evitar la contaminación.
- En algunas circunstancias, por razones prácticas o culturales, no es apropiado tomar muestras de tejidos musculares. Otras fuentes de ADN que no exigen extracciones de tipo invasivo son las siguientes: los cabellos arrancados con sus raíces, los recortes de uñas, y el frotis o hisopado de la superficie bucal. Esas muestras se pueden conservar del mismo modo que el tejido muscular. Sin embargo, los análisis de esas muestras son en general más difíciles de

2 Las Directrices de INTERPOL sobre identificación de víctimas de catástrofes y la Comisión de ADN de la Sociedad Internacional de Genética Forense recomiendan tomar una muestra de tejido muscular profundo de 1 gramo (véase la lista de publicaciones técnicas en el Anexo A).

3 Véase la lista de publicaciones técnicas en el Anexo A.

- realizar y exhiben mayores probabilidades de fallas que los análisis realizados con tejido muscular.
- Por lo general, las muestras de piel y las muestras de sangre tomadas *post mortem* no son fuentes de ADN adecuadas.

Si hay dudas con respecto a la recuperación de ADN de muestras de tejidos, es aconsejable tomar muestras de tejidos duros (véase más abajo).

4.2.2 Recolección y conservación de material óseo

Las células que se hallan dentro de los tejidos duros (huesos y dientes) se encuentran implantadas en una densa matriz biomineral y están protegidas en gran medida de los efectos de la putrefacción y la descomposición. Por ende, los tejidos duros pueden utilizarse como fuente de ADN⁴. Para optimizar la posibilidad de obtener un perfil de ADN, es aconsejable tomar muestras de tejidos duros de los restos humanos. En muchos casos, cuando se tarda en recuperar los restos humanos, los elementos óseos suelen ser lo único que queda para extraer las muestras. Al recolectar tejidos duros, se han de tener en cuenta varios aspectos técnicos:

- Para efectuar la recuperación de restos óseos es preciso utilizar las técnicas arqueológicas y antropológicas apropiadas. En muchos casos, debido a la recuperación incompleta y la mezcla de restos, se complica el análisis de ADN, se pierde la oportunidad de identificar a las personas y se producen identificaciones erróneas.
- En la mayoría de los casos, los dientes ofrecen la mejor fuente de ADN. Lo ideal es tomar dos dientes que no hayan experimentado intervenciones odontológicas ni procesos de descomposición (como caries), en el siguiente orden de preferencia: molar, premolar, canino, incisivo.
- No se deben tomar como muestra dientes cuyas características puedan contribuir al proceso de identificación, por

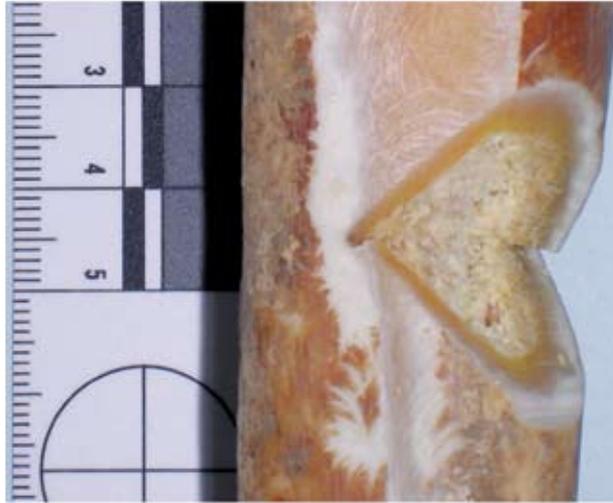
4 Véase la lista de publicaciones técnicas en el Anexo A.

ejemplo los dientes delanteros que puedan compararse con una fotografía de la persona desaparecida. Si no hubiese otra alternativa, es preciso documentar plenamente las características de los dientes, incluso mediante fotografías, antes de la extracción.

- En la mayoría de los métodos de extracción de ADN de los tejidos duros se utilizan aproximadamente 100 mg de material; sin embargo, en algunos de los métodos publicados se emplean hasta 10 gramos⁵. A fin de guiar el procedimiento de muestreo, conviene conocer el proceso de extracción que empleará el laboratorio.
- Todos los huesos contienen ADN, pero algunos lo preservan mejor que otros. Los huesos largos, especialmente los fémures, son, después de los dientes, la mejor fuente de ADN. Se aconseja extraer una sección de tipo “ventana” del sector central del hueso largo (véase la figura 3). Según la mayoría de los protocolos de extracción, basta con una sección de aproximadamente 2 a 5 mm, para permitir la realización de otras extracciones. Se recomienda utilizar una sierra oscilante de uso médico (sierra Stryker®), pero se pueden usar sierras de otro tipo si no se dispone de una sierra especializada (nota: no se debe atravesar el hueso con la sierra, puesto que ello impediría realizar la evaluación antropológica del material, por ejemplo, estimar la estatura del individuo).
- A veces, no es posible extraer la muestra de un fémur. En esos casos, el orden de preferencia del muestreo será el siguiente: tibia y peroné, húmero, radio y cúbito.
- En restos humanos que no se encuentren en avanzado estado de descomposición, las secciones de costillas son una buena fuente de ADN, que puede extraerse con relativa facilidad durante un examen *post mortem*.
- Tras haber extraído muestras de huesos o dientes de los restos humanos, es importante conservarlas en condiciones adecuadas para prevenir la ulterior degradación del ADN. Las muestras de restos humanos relativamente intactos deben almacenarse a bajas temperaturas (idealmente, a -20 °C), a fin de prevenir el crecimiento de microbios.

5 Véase Davoren y otros, 2007, en el Anexo A.

Figura 3 Sección de tipo “ventana” extraída de un fémur



- También es aconsejable conservar las muestras tomadas de huesos más antiguos y “secos” a -20°C , pero, en algunos contextos, esto no es factible y las muestras se mantienen a la temperatura ambiente, con la consiguiente degradación del ADN.
- Si no es posible congelar las muestras, se aconseja mantenerlas tan frías y secas como sea posible. Si las muestras se humedecen, la actividad microbiana acelerará la degradación del ADN.

4.3 Recolección de muestras de referencia para realizar análisis forenses de ADN

Cuando se recuperan restos humanos que pueden analizarse mediante técnicas de perfilado de ADN, es necesario contar con muestras de referencia para efectuar la comparación y encontrar coincidencias. La muestra de referencia más común es la que se toma de un familiar biológico. En algunas circunstancias, es posible recuperar y analizar pruebas que contienen material biológico perteneciente a la persona desaparecida.

4.3.1 Familiares biológicos

Los familiares biológicos comparten una parte de su ADN; el grado de parentesco determina cuánto material genético tienen en común dos individuos. Padres e hijos comparten la mitad de su ADN; un individuo comparte también, en promedio, un cuarto de su ADN con sus abuelos y nietos. A menos que se utilice el análisis de ADN mitocondrial o el análisis del cromosoma Y (véase la sección 2), las comparaciones más fiables de ADN se realizan con muestras de los padres e hijos de las personas desaparecidas⁶.

La obtención de muestras de los familiares plantea diversas cuestiones éticas y jurídicas, que se tratan en la sección 6. Cuando se planifica un programa de recolección de muestras, conviene prestar atención a los siguientes factores:

- Las muestras de referencia que se han de tomar dependen de las circunstancias que rodean a las personas desaparecidas. Si el número de desaparecidos es relativamente bajo, una muestra de referencia, tomada de un padre o un hijo, puede bastar, aunque siempre es aconsejable extraer muestras de referencia de al menos dos familiares cercanos (padres o hijos) cuando sea posible. Cuando el número de personas desaparecidas asciende a centenares o miles, crece la posibilidad de que se produzcan coincidencias fortuitas (véase la sección 3.2); en tal caso, lo aconsejable es tomar muestras de referencia adicionales de los parientes cercanos.
- El lenguaje que se utiliza para describir las relaciones biológicas puede resultar confuso, tanto para las personas que toman la muestra como para los familiares de las personas desaparecidas. Por ello, se recomienda utilizar una representación gráfica de un árbol genealógico para identificar la relación biológica exacta de un individuo con una persona desaparecida⁷. Las personas que recolectan las muestras deben estar formadas y ser competentes

6 Véase el Anexo B.

7 Véase el Anexo C.

en las técnicas de entrevista, a fin de poder identificar y registrar la índole exacta de las relaciones biológicas. Es aconsejable obtener la colaboración de un experto en genética, quien podrá aclarar si determinado familiar es adecuado o no como referencia.

- No es indispensable que las personas que toman las muestras sean especialistas forenses, pero sí es conveniente que estén familiarizadas con la extracción y manipulación de muestras biológicas y con las correspondientes cuestiones de salud y seguridad.
- Independientemente de sus antecedentes, todas las personas que participen en la recolección de muestras deben recibir formación en lo que respecta a los procedimientos de recolección y la importancia de la cadena de custodia. También es importante enseñar a esas personas métodos que les permitan afrontar las presiones psicológicas con las que inevitablemente se encontrarán al tratar directamente con los familiares de personas desaparecidas.
- Como parte integrante del proceso de recolección, es indispensable prever y prestar apoyo psicológico a los familiares de las personas desaparecidas, de manera individual o colectiva, a fin de ayudarles a evitar nuevos traumas.
- El hecho de que, en determinado momento, el proceso de identificación no incluya el análisis de ADN no significa que no haya que recoger muestras. Las muestras se pueden recoger y conservar a la espera de un futuro análisis. Conviene explicar estas variantes a los familiares, así como mencionar la posibilidad de que las muestras no se utilicen en absoluto. La decisión de recolectar muestras dependerá de la existencia de un marco jurídico satisfactorio que prevea, en particular, la cadena de custodia a lo largo del proceso, como así también de la posibilidad de conservar y catalogar las muestras en condiciones seguras, y de la posibilidad objetiva de que las muestras se analicen en el futuro. En principio, conviene evitar la reiteración de entrevistas y la falta de coordinación en las solicitudes de muestras de ADN. Por ello, lo más aconsejable es recoger los datos *ante mortem* y las muestras de ADN durante la misma entrevista.

Hay diferentes métodos para la extracción de muestras de referencia. A continuación, se reseñan algunas cuestiones técnicas.

- La forma de extracción más común es pinchar el dedo y recoger las gotas de sangre en papel absorbente. Está muy difundido el uso de un producto comercial, el papel FTA^{®8}, para conservar material biológico. Si no se dispone de papel FTA[®] o de productos comerciales similares, se puede recoger la muestra en cualquier papel absorbente limpio, como papel secante o papel de filtro.
- Una vez recogida la muestra, es imprescindible dejar secar la sangre y, a posteriori, es indispensable mantenerla seca. Después de secarla al aire, se recomienda guardar la muestra en un envase de plástico o de papel metálico sellado, junto con un sachet de gel de sílice. Mientras la muestra de sangre y el papel se mantengan secos, el ADN se conservará relativamente estable. Las muestras recogidas en papel FTA[®] mantienen su estabilidad por períodos prolongados (años) a temperatura ambiente.
- También es posible recoger muestras de material biológico que no sea sangre. En la ciencia forense, es común el uso de frotis de la cavidad bucal (hisopados bucales). El hisopo se frota en la superficie bucal (la parte interna del carrillo) durante aproximadamente 30 segundos para recoger material celular. Al igual que con las muestras de sangre, para conservar la muestra, los hisopos se deben dejar secar al aire. Una vez secos, pueden conservarse en sobres de papel o de papel metálico junto con un sachet de gel de sílice hasta su llegada al laboratorio donde, en condiciones óptimas, los hisopos se almacenarán a -20°C. Las muestras bucales también se pueden recoger con papel FTA[®], en cuyo caso no es necesario conservarlas a baja temperatura antes del análisis.
- Si no es posible dejar secar las muestras al aire durante la recolección, o si se carece de congeladores para su conser-

8 El papel FTA[®] es suministrado, en diversos formatos, por la empresa Whatman. Puede encontrarse información sobre los productos y sus detalles en <http://www.whatman.com> (consultado el 3 de mayo de 2010).

vación, pueden utilizarse soluciones tampón de conservación comerciales para conservar las muestras. En tal caso, el hisopo se coloca en un tubo de plástico y se añade un tampón líquido que retarda la descomposición del ADN.

4.3.2 Pertenencias biológicas de personas desaparecidas

En algunos casos, es posible determinar con un alto grado de certeza la compatibilidad de muestras médicas o de objetos personales con una persona desaparecida. Esas muestras biológicas pueden ser las siguientes:

- Muestras médicas, como biopsias y muestras de sangre.
- Cordones umbilicales, dientes y otras partes del cuerpo que se guardan como recuerdos en algunas culturas.
- Objetos personales, como cepillos para el cabello, cepillos de dientes y afeitadoras.

Las condiciones de conservación de las pertenencias biológicas varían según el tipo de material; sin embargo, cabe señalar que las bajas temperaturas y la sequedad ayudan a preservar todos los tipos de muestras biológicas.

La principal ventaja que ofrece el uso de objetos personales es que permite realizar comparaciones de ADN sencillas y de alto grado de validez. El perfil de ADN que se obtenga del objeto y de los restos humanos será idéntico a condición de que el ADN de los restos esté suficientemente intacto como para obtener un perfil de ADN completo. Sin embargo, a menos que exista una sólida cadena de custodia, es aconsejable utilizar los objetos personales junto con muestras de los familiares de la persona desaparecida. Este procedimiento permite poner a prueba la identidad del objeto. Por ejemplo, si se analiza la afeitadora de una persona desaparecida, puede compararse con el perfil de ADN de su madre, su padre o sus hijos, a fin de confirmar la identidad del material biológico atribuido a esa persona desaparecida.

5. GARANTÍA Y CONTROL DE CALIDAD EN LOS ANÁLISIS DE ADN

Las contundentes respuestas que ofrecen los análisis de ADN han dado lugar al establecimiento de estrictas medidas de garantía y de control de calidad, destinadas a reducir al mínimo la posibilidad de que los laboratorios proporcionen resultados equívocos o incorrectos. Las medidas de garantía y de control de calidad consisten en varios elementos, entre los que figuran la documentación y la validación de las metodologías, las pruebas de competencia tanto internas como externas, y la revisión periódica de casos. Los laboratorios pueden demostrar que respetan las normas internacionales a través de procedimientos de acreditación por terceros. El sistema de acreditación por terceros más difundido es el ISO/IEC 17025¹.

- Al seleccionar un laboratorio de ensayos para realizar la identificación humana basada en ADN, conviene evaluar con cuidado si conviene encomendar el trabajo a un laboratorio acreditado. Existen laboratorios conocidos y respetados que carecen de acreditación por terceros. La falta de acreditación no necesariamente debe causar la exclusión de un laboratorio, a menos que el sistema jurídico pertinente así lo disponga. Sin embargo, cuando un laboratorio no cuente con la acreditación por terceros, es aconsejable investigar sus procedimientos de garantía y de control de calidad. Se observa una creciente tendencia de los laboratorios a obtener la acreditación por terceros basada en la norma ISO/IEC 17025, y las organizaciones que encargan análisis de ADN con fines forenses suelen exigirla.
- Las técnicas de extracción y análisis de ADN deben ser fiables y científicamente válidas. La validación es un proceso

¹ Organización Internacional de Normalización, ISO/IEC 17025(E) "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración", Ginebra, 2005.

por el cual se evalúa un procedimiento a fin de determinar su eficacia y su fiabilidad para la labor forense, y abarca una rigurosa comprobación de la técnica contra las variables conocidas, así como la determinación de las condiciones y limitaciones de su uso en muestras forenses.

- Los laboratorios deben establecer una serie de protocolos que aborden todos los aspectos del proceso de identificación de restos humanos, a saber: la recolección, la conservación y, en última instancia, el tratamiento final de los restos humanos; la recolección, la conservación y el tratamiento final de las muestras de referencia; el procesamiento tanto de restos humanos como de muestras de referencia; la comparación y el análisis estadístico de datos; y la preparación de informes sobre compatibilidades e incompatibilidades.

6. CUESTIONES ÉTICAS Y JURÍDICAS RELACIONADAS CON EL USO DEL ADN EN LA IDENTIFICACIÓN DE RESTOS HUMANOS

La información contenida en el ADN de una persona es sensible porque el ADN es un identificador único, que puede contener información sobre la familia de una persona y sobre las personas íntimamente asociadas a ella. Por ende, esa información debe protegerse con rigor a fin de garantizar el derecho a la intimidad. La información derivada del ADN también contiene datos acerca de la predisposición genética de una persona a determinadas enfermedades, lo cual podría, por ejemplo, predisponer a las compañías aseguradoras en contra de esa persona. Por estas razones, cuando la legislación nacional permite el uso de los análisis de ADN para fines relacionados con la aplicación de la ley, en casi todos los casos también se han adoptado leyes destinadas a proteger los datos genéticos recolectados. Sin embargo, el tipeado estándar para STR examina regiones indeterminadas del ADN humano, por lo cual carece de utilidad en el análisis de predisposiciones genéticas.

El derecho internacional no contiene disposiciones específicas en materia de protección de los datos genéticos. En el derecho internacional humanitario y en el derecho de los derechos humanos se reconoce la necesidad de conferir protección especial a las personas afectadas por conflictos armados¹. Sin embargo, estos cuerpos jurídicos contienen solamente principios generales relacionados con la confidencialidad, la intimidad, la no discriminación y la dignidad humana, que pueden aplicarse a la protección de los datos genéticos.

¹ Esto se refiere, en particular, a las personas privadas de libertad, los heridos, las personas desplazadas, los refugiados y las personas que desconocen el paradero de sus familiares.

En octubre de 2003, la UNESCO finalizó el texto de la Declaración Internacional sobre los Datos Genéticos Humanos². Hasta 2009, esta declaración y la anterior Declaración Universal sobre el Genoma Humano y los Derechos Humanos de la UNESCO (1997) eran las únicas declaraciones internacionales en las que se abordaba el tema de la protección de los datos genéticos. En la declaración de 2003, se subraya que toda práctica relacionada con la recolección, el tratamiento, la utilización y la conservación de datos genéticos humanos deberá ser compatible tanto con la legislación nacional como con el derecho internacional de los derechos humanos.

El preámbulo de la declaración contiene algunas observaciones particularmente perspicaces, como la siguiente: “... los datos genéticos humanos son singulares por su condición de datos sensibles, toda vez que pueden indicar predisposiciones genéticas de los individuos y que esa capacidad predictiva puede ser mayor de lo que se supone en el momento de obtenerlos; pueden tener para la familia, comprendida la descendencia, y a veces para todo el grupo, consecuencias importantes que persistan durante generaciones; pueden contener información cuya relevancia no se conozca necesariamente en el momento de extraer las muestras biológicas; y pueden ser importantes desde el punto de vista cultural para personas o grupos”.

6.1 Protección de información personal y genética: principios generalmente aceptados

En la mayoría de los países, la legislación dedicada a las cuestiones derivadas de los avances tecnológicos no se mantiene a la par de los rápidos progresos logrados en los análisis del ADN, tanto en las aplicaciones forenses como médicas. En un taller organizado por el CICR en 2002, se examinaron los acuerdos y las recomendaciones internacionales en relación

² UNESCO, Declaración Internacional sobre los Datos Genéticos Humanos, 2003. Disponible en: http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=17720&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html (Consultado el 3 de mayo de 2010).

con las legislaciones nacionales, y se elaboraron unos principios jurídicos sobre la protección de los datos personales y genéticos que se han de respetar en toda circunstancia³. Esos principios se siguieron desarrollando en respuesta a nuevas investigaciones jurídicas, y se resumen a continuación.

Los siguientes principios se relacionan con la protección de todos los datos personales, incluidos los genéticos:

- El término “datos personales” se utiliza para designar toda información relacionada con una persona identificada o identificable.
- Los datos personales deberían recolectarse y procesarse de forma legal e imparcial.
- La obtención y la utilización de datos personales deberían estar supeditadas al consentimiento de la persona a la que se refieran los datos, a menos que medie un interés público sustancial o la protección de los intereses vitales del interesado.
- La recolección y el procesamiento de datos personales deberían limitarse a lo necesario para el logro del fin establecido en el momento de su obtención o con anterioridad.
- Los datos de carácter confidencial sólo deberían recolectarse y procesarse con salvaguardias acordes a su grado de confidencialidad.
- Los datos personales obtenidos deberían ser exactos, completos y actualizados en la medida de lo necesario para la finalidad con que son utilizados.
- Deben aplicarse a los datos personales salvaguardias de seguridad acordes a su grado de confidencialidad.
- Los datos personales no pueden ser utilizados, divulgados o transmitidos con fines diferentes de aquellos para los que fueron recolectados sin el consentimiento del interesado, a menos que así lo exija un interés público sustancial o la protección de los intereses vitales del interesado.

3 Véase CICR, “The Missing: Action to resolve the problem of people unaccounted for as a result of armed conflict or internal violence and to assist their families, The legal protection of personal data and human remains”, Ginebra, 2003. Disponible en: http://www.icrc.org/Web/eng/siteeng0.nsf/htmlall/SCALLJ/SFile/ICRC_TheMissing_072002_EN_1.pdf (consultado el 3 de mayo de 2010).

- Sólo pueden transmitirse datos personales a terceros que respeten los principios aplicables a la protección de datos personales.
- Los datos personales deberían destruirse tan pronto como se haya alcanzado el propósito para el que fueron recolectados o cuando dejen de ser necesarios. Sin embargo, se pueden conservar durante un período determinado si ello redundaría en beneficio de la persona a la que se refieren o si son fundamentales para la realización de actividades humanitarias de la organización que los haya recolectado.
- La persona a la que se refiere la información debería tener acceso a sus datos personales. Asimismo, debería estipularse el derecho a impugnar la exactitud y la exhaustividad de los datos y a solicitar la correspondiente rectificación.

El siguiente conjunto de principios se relaciona específicamente con el uso de las muestras biológicas y los perfiles de ADN resultantes de su procesamiento:

- La obtención, la utilización y la divulgación de perfiles de ADN deben ser conformes con las normas relativas a la protección de los datos personales.
- Sólo se podrán obtener y analizar muestras de ADN cuando exista una finalidad claramente identificada y específica.
- La identificación de restos humanos mediante el tipeado de ADN sólo debería realizarse cuando otros métodos de investigación con fines de identificación no sean adecuados.
- Sólo pueden obtenerse y analizarse muestras de ADN con el consentimiento informado del interesado (véase la sección 6.2), a menos que un interés público superior dicte lo contrario. El interés público superior debe limitarse a las investigaciones criminales o a la seguridad pública y, en caso de fallecimiento, a la identificación de restos humanos. El propósito específico debe limitarse exclusivamente a la identificación individual directa.
- Sólo pueden extraer muestras de ADN las personas debidamente capacitadas.

- La información relativa al ADN que se ha recolectado puede utilizarse y divulgarse únicamente en relación con los fines identificados en el momento de la recolección o con anterioridad.
- Las muestras y los perfiles de ADN deberían destruirse o borrarse después de haberse cumplido el propósito para el cual fueron recolectados, a menos que se precisen para otros fines conexos.
- Los análisis de ADN deberían realizarse exclusivamente en laboratorios que cuenten con la capacidad técnica y con las medidas de garantía y de control de calidad apropiados.
- Las muestras, los perfiles y los registros de ADN deberían protegerse adecuadamente contra todo acceso y utilización no autorizados
- Los perfiles o las muestras de ADN deberían divulgarse, transmitirse o compararse en el contexto de la cooperación internacional exclusivamente para los fines identificados en el momento de la recolección o con anterioridad, y solamente con el consentimiento de los interesados, salvo en los casos previstos en la ley.

6.2 Consentimiento informado

Cuando se solicita a los familiares que donen muestras de referencia, es aconsejable explicar a la persona que da su consentimiento, en términos sencillos, la razón por la cual se recolecta el material biológico. Se debe procurar que la persona comprenda cómo la afectará la recolección del material. Puede decirse que las personas han proporcionado su consentimiento informado si han comprendido los siguientes aspectos:

- por qué se están recolectando muestras, y cómo funcionará el programa de identificación;
- los aspectos prácticos de la participación en el programa y los beneficios que probablemente obtengan de la participación;
- el modo en que se manejarán y utilizarán los datos rela-

cionados con ellas y el hecho de que se respetarán los principios de la protección de datos personales (véase la sección 6.1);

- los detalles del formulario de consentimiento que van a llenar;
- la forma en que recibirán información durante el programa de identificación; y
- que la participación es voluntaria y que, si cambian de idea más adelante, podrán retirarse del programa sin estar obligadas a dar explicaciones.

Se aconseja facilitar a los participantes los datos de contacto para el caso que deseen hacer preguntas o retirarse del programa.

El requisito del consentimiento informado tiene por objeto impedir que las personas proporcionen muestras bajo coacción.

Anexo A: Publicaciones relacionadas con la extracción y conservación de ADN de tejidos humanos

Directrices para el uso de la genética forense en la identificación humana

Prinz, M. y otros, Comisión de ADN de la Sociedad Internacional de Genética Forense, "Recommendations regarding the role of forensic genetics for disaster victim identification," *Forensic Science International: Genetics*, marzo de 2007, vol.1, n.º1, págs. 3-12.

Budowle, B., Bieber, F.R., Eisenberg, A.J., "Forensic aspects of mass disasters: strategic considerations for DNA-based human identification," *Legal Medicine*, julio de 2005, vol.7, N.º 4, págs. 230-243.

Organización Internacional de Policía Criminal (INTERPOL), *Guía de identificación de víctimas de catástrofes*, 1997. Disponible en: www.interpol.int/Public/DisasterVictim/guide/GuideEs.pdf (consultado el 3 de mayo de 2010).

National Institute of Justice (Instituto Nacional de Justicia de Estados Unidos), *Mass Fatality Incidents: A Guide for Human Forensic Identification*, 2005. Disponible en: <http://www.ojp.usdoj.gov/nij/pubs-sum/199758.htm> (consultado el 3 de mayo de 2010).

National Institute of Justice (Instituto Nacional de Justicia de Estados Unidos), *Lessons Learned from 9/11: DNA Identification in Mass Fatality Incidents*, 2006. Disponible en: <http://www.massfatality.dna.gov> (consultado el 3 de mayo de 2010).

AABB, *Guidelines for Mass Fatality DNA Identification Operations* (2009). Disponible en: <http://www.aabb.org> (consultado el 3 de mayo de 2010).

Conservación de tejidos blandos

Graham, E.A.M., Turk, E.E., Rutty, G.N., "Room temperature DNA preservation of soft tissue for rapid DNA extraction: An addition to the disaster victim identification investigators toolkit?" *Forensic Science International: Genetics*, enero de 2008, vol.2, N.º 1, págs. 29-34.

Kilpatrick, C.W., "Non-cryogenic preservation of mammalian tissue for DNA extraction: An assessment of storage methods," *Biochemical Genetics*, No. 40, 2002, págs. 53-62.

Extracción de ADN de restos óseos

Edson, S.M. y otros, "Naming the Dead: Confronting the realities of rapid identification of degraded skeletal remains," *Forensic Science Review*, vol.16, N.º 1, 2004, págs. 64-89.

Loreille, O.M. y otros, "High efficiency DNA extraction from bone by total demineralization," *Forensic Science International: Genetics*, junio de 2007, vol.1, N.º 2, págs. 191-195.

Davoren, J. y otros, "Highly effective DNA extraction method for nuclear short tandem repeat testing of skeletal remains from mass graves," *Croatian Medical Journal*, agosto de 2007, vol. 48, N.º 4, págs. 478-485.

Anexo B: Valor estadístico de los familiares biológicos en la identificación de restos humanos

Es aconsejable recolectar muestras de referencia de los familiares biológicos más próximos (padres e hijos), puesto que comparten la mitad del ADN de la persona desaparecida. La utilidad de las distintas combinaciones de familiares se ilustra en el cuadro que sigue. Cuanto más elevado sea el valor porcentual, tanto más útil será la muestra de los familiares para obtener una identificación. Aun si las muestras tomadas de los familiares directos ofrecen la mayor probabilidad de determinar la identidad, sigue siendo aconsejable recolectar muestras de referencia de más de un pariente, a fin de reducir al mínimo la posibilidad de que se produzcan coincidencias falsas (fortuitas) entre los familiares y los restos humanos.

Referencia familiar	Probabilidad de la identidad*
Un hermano (o hermana)	92,1%
Hermano y tía (o tío)	94,4%
Hermano y dos tías o tíos de la misma rama de la familia	97,8%
Hermano y una tía y un tío de diferentes ramas de la familia	99,8%
Hermano y hermanastro	98%
Hermano y dos hermanastros (de la misma madre pero de diferentes padres)	99,4%
Dos hermanos	99,91%
Uno de los padres/un hijo	99,9%
Hermano y uno de los padres	99,996%
Padre y un hermanastro por parte de madre	99,95%
Padre y dos hermanastros por parte de madre	99,996%
Padre y tía por parte de madre	99,993%
Tres abuelos	96,7%
Cuatro abuelos	99,99%
Tres abuelos y un hermano	99,994%

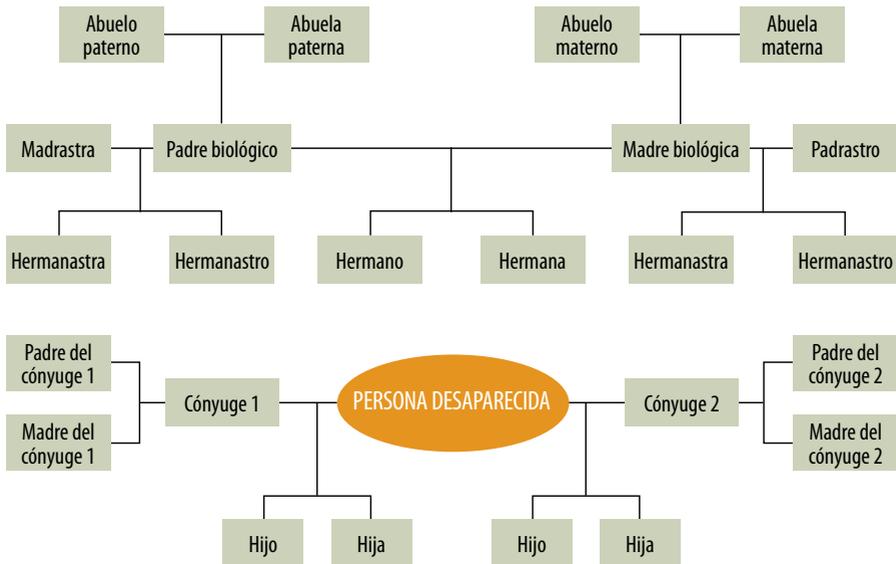
Cuadro 1 El promedio de la probabilidad de la identidad, *con una probabilidad previa de identidad del 10% (es decir que, con anterioridad al análisis de ADN, exista una probabilidad del 10% de que la persona fallecida esté emparentada con la familia cuyas muestras se analizan). Los resultados se alcanzaron analizando 15 loci STR indicados en el *Identifier PCR Amplification Kit* (Applied Biosystems, Foster City, California, EE.UU.).

Datos de: Brenner, C.H., "Reuniting El Salvador families." Disponible en: <http://dna-view.com/ProBusqueda.htm> (consultado el 3 de mayo de 2010).

Anexo C: Modelo de árbol genealógico para las fichas de recolección de material biológico de familiares de personas desaparecidas

Basado en el modelo contenido en *Lessons Learned from 9/11: DNA Identifications in Mass Fatality Incidents*, publicado por el Instituto Nacional de Justicia de Estados Unidos. Disponible en: <http://www.massfatality.dna.gov> (consultado el 3 de mayo de 2010).

Se invita a los donantes a marcar su lugar en el árbol genealógico, a fin de reducir posibles errores en la descripción de su parentesco con la persona desaparecida.



MISIÓN

El Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR), organización imparcial, neutral e independiente, tiene la misión exclusivamente humanitaria de proteger la vida y la dignidad de las víctimas de los conflictos armados y de otras situaciones de violencia, así como de prestarles asistencia.

El CICR se esfuerza asimismo en prevenir el sufrimiento mediante la promoción y el fortalecimiento del derecho y de los principios humanitarios universales.

Fundado en 1863, el CICR dio origen a los Convenios de Ginebra y al Movimiento Internacional de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, cuyas actividades internacionales en los conflictos armados y en otras situaciones de violencia dirige y coordina.



CICR