

EL ANÁLISIS DEL ADN APLICADO A LA ADMINISTRACIÓN DE JUSTICIA: UNA INTRODUCCIÓN

Marta Espinoza Esquivel y Luis González Salas

Sección Bioquímica, Departamento Ciencias Forenses, Organismo de Investigación Judicial. San Joaquín de Flores, Heredia.
mespinoza@poder-judicial.go.cr

RESUMEN

Las pruebas de ADN han significado un avance sin precedentes en el laboratorio forense en las últimas décadas. En el presente artículo se presenta las generalidades acerca de los principios de esta tecnología, sus aplicaciones, los factores que afectan esas aplicaciones y, finalmente, una descripción general de las labores que realiza la Sección de Genética Forense del Organismo de Investigación Judicial de Costa Rica, en las cuales las pruebas de ADN constituyen una herramienta fundamental al servicio del sistema judicial.

Palabras clave. ADN, marcadores genéticos, pruebas paternidad, introducción.

ABSTRACT

DNA testing represents a landmark of forensic laboratory development in recent decades. This article presents the fundamentals of this technology, applications, factors that influence those applications, and finally, a general description of the work done in the Forensic Genetics Laboratory of the Costa Rican judiciary system, where DNA testing is playing a central role in daily work.

Key words: DNA, genetic markers, paternity tests, introduction.

El Ácido Desoxirribonucleico (ADN) es una molécula orgánica presente en la mayoría de los seres vivos (algunos virus solo contienen una variante llamada Ácido Ribonucleico, ARN) y la portadora del código genético que define las características individuales de los individuos. El código genético está determinado por el orden de las unidades estructurales que forman parte de esta molécula. Así como la unidad estructural de las proteínas son los aminoácidos, la unidad estructural del ADN son los nucleótidos. Los nucleótidos están constituidos de ácido fosfórico+azúcar desoxirribosa+base nitrogenada. Cuatro nucleótidos distintos forman parte del ADN y son representados por las letras A (adenosina), C (citosina), G (guanósina)

y T (timidina). La unión secuencial formando una cadena de estos cuatro nucleótidos y el orden en el cual se disponen proporcionan un número casi infinito de secuencias de letras que determinan el código genético. ^(1, 2)

Una única cadena o hebra de ADN está compuesta de cientos de miles de nucleótidos. El ADN en los cromosomas se conforma por dos hebras que se unen entre sí, complementándose de acuerdo a las propiedades químicas de las bases nitrogenadas A, G, C y T, de forma que siempre una A estará asociada a una T y una G con una C. Una cadena de ADN puede ser entonces representada por el orden en el cual se disponen las cuatro letras. Por ejemplo:

...A-C-G-T-A-A-A-G-T-T-C-C-T-G-G-A...

Inmediatamente, la doble hebra quedará conformada así:

...A-C-G-T-A-A-A-G-T-T-C-C-T-G-G-A.

...T-G-C-A-T-T-T-C-A-A-G-G-A-C-C-T...

Los aproximadamente 3 billones de nucleótidos del código genético humano, constituyen el genoma que se dispone en 23 pares de cromosomas para la especie humana.

Desde el punto de vista funcional el ADN puede ser clasificado en dos tipos: codificante y no codificante.

El ADN codificante es aquel que contiene las secuencias (genes) que determinan el orden de los aminoácidos que constituirán las proteínas. Es el ADN de importancia en medicina (una sola variación en el orden de un nucleótido puede determinar la aparición de una enfermedad).

Por su parte, aunque no se sabe a ciencia cierta su función biológica el ADN no codificante, aparte de que cuantitativamente supone la mayor parte del genoma humano, es el ADN que resulta de mayor interés desde el punto de vista de las ciencias forenses. Cerca de la mitad del ADN no codificante es ADN repetitivo una parte del cual, a su vez, la constituye secuencias repetidas (en tándem y e intercaladas).

Actualmente, los elementos en los cuales la secuencia que se repite es de 2 a 6 pares de bases (llamados microsatélites o STRs) son lo de mayor relevancia en la práctica forense, sobre todo porque, aparte de la gran variabilidad, permiten obtener resultados concluyentes incluso en muestras degradadas.

Para tratar de ejemplificar la composición de estos microsatélites, tomemos como ejemplo las siguientes secuencias dobles de ADN que provienen de dos cromosomas diferentes.

La secuencia repetida (microsatélite) en este caso es obviamente C-A-T-T. En uno de los cromosomas esta secuencia se repite 6 veces (alelo 6) mientras en el otro homólogo sólo 4 veces (alelo 4) (Gráfico 1).

Para este marcador, el microsatélite podría ser denominado 4-6 puesto que el individuo ha heredado uno de los alelos de su madre y otro de su padre biológico. La posibilidad de realizar esta clase de determinaciones en un gran número de marcadores identificados en diferentes cromosomas es la base de las pruebas de identificación genética utilizadas en el laboratorio forense actual.

LA REVOLUCIÓN DE LA PCR

La aplicación de la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (o PCR, *Polymerase Chain Reaction*) propuesta por Kary Mullis en

Gráfico 1

Ejemplo de microsatélite (C-A-T-T)

A-T-G-C	<u>C-A-T-T</u>	<u>C-A-T-T</u>	<u>C-A-T-T</u>	<u>C-A-T-T</u>	<u>C-A-T-T</u>	<u>C-A-T-T</u>	A-A-G-G
T-A-C-G	G-T-A-A	G-T-A-A	G-T-A-A	G-T-A-A	G-T-A-A	G-T-A-A	T-T-C-C
A-T-G-C	<u>C-A-T-T</u>	<u>C-A-T-T</u>	<u>C-A-T-T</u>	<u>C-A-T-T</u>	A-A-G-G		
T-A-C-G	G-T-A-A	G-T-A-A	G-T-A-A	G-T-A-A	T-T-C-C		

1987, y reconocida luego con el Premio Nobel de Química, ha representado el hallazgo más espectacular en el campo forense, desde la implementación de la aplicación de las huellas dactilares por Sir Francis Gallup en el siglo XIX^(3,4). La PCR es una técnica *in vitro* con la cual es posible la amplificación de pequeños segmentos de ADN a partir de una cadena única, de modo que se pueden elaborar millones de copias, y hacer así el producto amplificado fácilmente analizable en el laboratorio. El tamaño de los 2 fragmentos generados por la PCR para cada marcador (microsatélite) dependerá del número de repeticiones que contenga cada alelo. Consecuentemente, si el número de repeticiones es diferente en los dos cromosomas heredados de los progenitores, se observarán dos fragmentos de diferente tamaño. Los individuos que presentan 2 fragmentos de diferente tamaño se denominan heterocigotos y los que presentan 2 fragmentos iguales, que se observan como un único fragmento, se denominan homocigotos. La inclusión o exclusión se logra estudiando en las personas involucradas al menos los alelos de 12 marcadores localizados en diferentes cromosomas.

La importancia de la PCR radica en que permite el análisis de las evidencias que son más comúnmente remitidas al laboratorio forense: muestras minúsculas de sangre, semen, elementos pilosos o indicios de la más diversa índole, recolectadas en condiciones poco ideales para el análisis por otros procedimientos. La literatura científica ha mostrado que gracias a la PCR y a las técnicas de detección actuales, aparte de las muestras de sangre y semen, puedan obtenerse resultados concluyentes en análisis con dientes, huesos, colillas de cigarrillo, estampillas, caspa, huellas digitales, tejidos fijados en parafina y diversos objetos personales (rasuradoras, goma de mascar, hilo dental, y otros)^(2, 5).

El número de sistemas estudiados depende del presupuesto con que cuente el laboratorio, y de la evaluación de la razón costo/beneficio para cada circunstancia específica. La Unidad de Genética Forense analiza de rutina

al menos 15 sistemas y está en capacidad de aumentar este número a 19 marcadores y muy pronto a 22.

PROBABILIDAD DE EXCLUSIÓN A PRIORI: UNA MEDIDA DE LA EFICACIA DE UN SISTEMA PARA EXCLUIR UN INDIVIDUO FALSAMENTE ACUSADO

Un parámetro que permite cuantificar la validez de un sistema genético es la probabilidad de exclusión a priori (PE). Es un valor porcentual que es función directa del polimorfismo (variabilidad) de un sistema. Cuanto más polimórfico sea un sistema y cuanto más equilibradas estén las frecuencias de sus alelos, tanto mayor será la probabilidad *a priori* de exclusión y, por tanto, su eficacia en la investigación. Esta probabilidad se define como la probabilidad de que un sistema genético específico dará evidencias que conducirán a la exclusión de un hombre falsamente acusado. La eficacia de varios sistemas para excluir a un individuo, cuando se usan conjuntamente, puede ser cuantificada mediante el cálculo de la probabilidad de que una persona acusada sea eliminada por una o más series de sistemas genéticos. La probabilidad de exclusión acumulada es un valor que se utiliza como índice *a priori* de la eficacia de un laboratorio. En España, se considera que un laboratorio está capacitado para realizar pruebas de paternidad cuando alcanza al menos un 99,9% de probabilidad de exclusión *a priori*⁽⁶⁾.

La probabilidad de exclusión *a priori* de los sistemas analizados por la Unidad de ADN a lo largo de los años es la siguiente:

Sistemas	# sistemas analizados	Capacidad de exclusión del sistema (%)
CTTv- FFFL-STRgamma	12	99.988
Power Plex 16	15	99.9999647
Power Plex 16 + FFFL	19	99.99999741

Esto significa que si comparamos una madre y su hijo con 100 hombres que no son el padre del niño, estos 12 sistemas están en capacidad de excluir al 99.988% de los

hombres analizados y la combinación de los 19 sistemas a un 99.99999741. El 100% es únicamente una tendencia, pues si se desea aumentar la probabilidad de exclusión a priori del sistema se deberán incluir mayor número de marcadores, y esto únicamente agregará más nueves después del punto decimal a este valor (99.9999....).

FACTORES QUE AFECTAN LA INTERPRETACIÓN DE LAS PRUEBAS DE ADN

Rudin e Inman ⁽⁷⁾ han resumido en 3 grupos los factores que pueden influenciar la capacidad de interpretación de los resultados obtenidos a partir del ADN en el laboratorio forense, a saber:

1. La posible participación de varios individuos en un hecho determinado (sea un caso de delitos sexual o no sexual) y, por tanto, la presencia de mezclas.
2. La posible degradación de las muestras.
3. La presencia de sustancias "extrañas" que podrían implicar la presencia de inhibición química de las enzimas o la presencia (y posible interferencia) de ADN no humano.

En el caso de las mezclas de semen la posibilidad de obtener resultados interpretables y válidos dependerá de si la muestra contiene o no espermatozoides, del número de individuos involucrados, de cuanto contribuyó cada uno al total de la muestra y, finalmente, del sistema utilizado para analizar las muestras. No cabe duda que cada caso es diferente y debe ser abordado con la mayor sistematización y pericia desde el mismo momento de la recolección de las muestras, sea cuales sean las circunstancias del hecho.

Por su parte, diferentes condiciones ambientales (temperatura, humedad, luz, factores químicos, etc.) podrían alterar la integridad del ADN. Aunque las técnicas más recientes, basadas en el análisis por PCR, permiten utilizar fragmentos muy pequeños de ADN, esos factores deben ser siempre considerados cuando se

trate del análisis de cualquier tipo de evidencia o muestra biológica.

Puesto que las pruebas actuales de identificación se basan en la acción de enzimas, cualquier factor que interfiera con la acción enzimática podría potencialmente inhibir su acción sobre el ADN. Afortunadamente, muchas opciones han sido desarrolladas a nivel del laboratorio para minimizar la acción de estos interferentes. La presencia de ADN "no humano" o "extraño" no es *per se* un problema para fines forenses dada la incomparable especificidad de las pruebas. Los problemas en este sentido surgen más bien de la posibilidad de que los microorganismos que producen enzimas que destruyen el ADN puedan hacer imposible los análisis por la degradación del mismo. De nuevo, vale mencionar que el laboratorio ha desarrollado las estrategias para que estos factores tengan la menor influencia posible sobre los análisis forenses y, lo que es más importante, sobre su interpretación final.

APLICACIONES DE LAS PRUEBAS DE ADN

Tres son las áreas fundamentales que pueden señalarse para la aplicación directa de las pruebas de ADN ⁽⁸⁾

1. La investigación biológica de la paternidad.
2. La investigación de indicios en criminalística biológica y
3. La resolución de problemas de identificación.

Pruebas de paternidad

En esta prueba se comparan los marcadores de ADN del niño (a) con los de la madre y el posible padre bajo el supuesto que las características que no procedan de la madre deberán provenir, y por tanto existir, en el que sea su padre biológico. Las leyes de la herencia predicen el comportamiento de estos fragmentos en una familia. El hijo siempre comparte un fragmento con la madre biológica, el fragmento restante en el niño debe ser compartido con el padre biológico. Es así como el supuesto padre debe compartir un fragmento con el hijo

en todos los marcadores analizados. Luego de estudiar al menos 12 marcadores genéticos (hasta 19 disponibles actualmente en la UGF) en los cuales el supuesto padre comparte un fragmento o alelo con el hijo, se puede asumir que la paternidad está prácticamente probada.

Se acepta internacionalmente que valores iguales o superiores al 99.73% en la probabilidad de paternidad (la razón calculada al dividir la probabilidad del supuesto padre en relación al perfil paterno entre la frecuencia génica de dicho perfil en la población) prueban prácticamente la paternidad (según los llamados predichos verbales de Hummel). Es teóricamente imposible llegar a una cifra de 100% de probabilidad de paternidad por la naturaleza de la estadística que se aplica, aunque se analicen miles de marcadores y no se observe una exclusión. Cada nuevo marcador que se estudie lo único que logra es agregar más nueves después del punto decimal (99.999....).

Vale mencionar que el análisis estadístico aplicado a las ciencias forenses es un capítulo aparte que ha alcanzado un desarrollo también extraordinario, y en algunos casos, una gran complejidad. Su discusión, por supuesto, escapa a los fines del presente artículo pero puede ser abordado a partir de múltiples publicaciones aparecidas en la literatura científica ^(3,9,10).

La prueba de ADN aplicada a criminalística

Según ha sido señalado por Andradas ⁽¹⁾ la prueba de ADN aplicada a criminalística tiene cuatro etapas básicas:

- 1.-El análisis de la muestra, que incluye la determinación del mayor número posible de polimorfismo de ADN, para obtener un perfil genético de la evidencia objeto de análisis.
- 2.-La comparación de los resultados con los obtenidos en el sospechoso y la víctima. Ello implica que si aparece un vestigio biológico en la víctima lo comparamos con el análisis genético del agresor o viceversa.

3.-Puede entonces ocurrir que los patrones sean diferentes en uno o más grupos, con lo que se concluye que ese vestigio biológico no se corresponde con el individuo con el que lo comparamos. Con ello, es posible una **exclusión** del individuo como el donador de dicho ADN.

Pero puede suceder que los polimorfismos de ADN analizados en el vestigio se correspondan con el individuo con el que se comparan. De modo que cuando se presenta una inclusión del individuo como donador del ADN, hay que valorar la probabilidad de provenga de ese individuo, lo que depende de la frecuencia de esos grupos en la población. La tercera etapa del análisis es pues la valoración de la prueba en el caso de coincidencia de patrones.

4.-Por último, la emisión del correspondiente dictamen pericial y en su caso, la comunicación de los resultados en el juicio oral.

Estas etapas de análisis que concluyen en el informe criminalístico tienen un precedente básico que es la correcta recolección y envío de las muestras e indicios al laboratorio. Estos aspectos han cobrado una importancia considerablemente mayor conforme el valor de la prueba es considerada como trascendental en muchos casos. De este modo, aspectos a los que frecuentemente no se pone la atención que merecen, como la denominada "cadena de custodia" de las muestras, han pasado a tener una enorme importancia y son un complemento vital para completar el proceso de análisis que concluye con la presentación de los resultados en la corte.

La mayoría de las aplicaciones de la tecnología del ADN en el campo forense tiene, por tanto, como fin la identificación de individuos, sean estos relacionados con investigaciones de paternidad, hechos criminales, personas extraviadas o víctimas de desastres ⁽¹¹⁾. Sin embargo, esta tecnología es también una herramienta fundamental en estudios antropológicos, arqueológicos y en la comprensión de aspectos evolutivos en genética de poblaciones. ^(2,5)

Quizás sea importante anotar en este momento, como bien lo resumen Berruno L

Tabla 1

Investigaciones de paternidad solicitadas y realizadas por la UGF, según año

	Año				
	1998	1999	2000	2001	2002
Total solicitadas	1164	1982	2554	4054	4847
Realizadas	225	567	722	1444	1636
	(19.3)	(28.6)	(28.3)	(36.6)	(33.8)
No realizadas (*)	939	1415	1832	2610	3211
	(80.7)	(71.4)	(71.7)	(63.4)	(66.2)
Tiempo promedio de respuesta (meses)	10	8	10	8	6

(*) Por ausencia de una o ambas partes

y colaboradores ⁽¹²⁾ que la aceptación del polimorfismo del ADN en los tribunales (que siguió a la aceptación de las pruebas de HLA), se fundamenta en varias premisas:

1. La teoría genética de estos sistemas ya no corresponde al campo experimental.
2. Los métodos de detección son controlables y, además de seguros, son realizados con razonable facilidad.
3. Existen tablas de frecuencias de genes adaptadas al grupo étnico y al lugar geográfico de la investigación.
4. Pueden valorarse otros factores que inciden en el estudio.
5. Puede realizarse un adecuado control de calidad en cuanto a los procedimientos, materiales y equipos.
6. Los estudios deben realizarse por expertos bien calificados.

LA SECCIÓN DE BIOQUÍMICA (BQM) DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORENSES

La Sección de Bioquímica del Departamento de Ciencias Forenses distribuye sus funciones en dos áreas básicas:

- La Unidad Centralizada de Inspección de Indicios (UCII) y

- La Unidad de Genética Forense (UGF), que realiza las pruebas de ADN.

La UCII tiene bajo su responsabilidad la identificación y recolección inicial de fluidos biológicos y elementos traza en todo tipo de evidencias. Por tanto, todo caso criminalístico que requiere la comparación de perfiles de ADN es analizado inicialmente por la UCII; esto, con excepción de la identificación de restos óseos y las pruebas de paternidad en casos de violación que ingresan directamente a la UGF.

Como se muestra en la Tabla 1, se ha producido en los últimos años un incremento considerable de los casos remitidos a la Sección de Bioquímica del DCF para investigaciones de paternidad, la mayoría de ellas remitidas por los Juzgados de Familia (95% en el 2002).

Las cifras de la Tabla 1 permiten concluir que:

- El número de investigaciones de paternidad ordenadas por las Autoridades Judiciales durante 2002 supera en un 316% las ordenadas durante el año 1998.
- Se ha mantenido a lo largo de los años la tendencia según la cual la mayoría de las veces (en promedio en cerca del 65% de los casos), una de las partes o ambas

Tabla 1

Investigaciones de paternidad solicitadas y realizadas por la UGF, según año

	Año				
	1998	1999	2000	2001	2002
Total solicitadas	1164	1982	2554	4054	4847
Realizadas	225	567	722	1444	1636
	(19.3)	(28.6)	(28.3)	(36.6)	(33.8)
No realizadas (*)	939	1415	1832	2610	3211
	(80.7)	(71.4)	(71.7)	(63.4)	(66.2)
Tiempo promedio de respuesta (meses)	10	8	10	8	6

(*) Por ausencia de una o ambas partes

y colaboradores ⁽¹²⁾ que la aceptación del polimorfismo del ADN en los tribunales (que siguió a la aceptación de las pruebas de HLA), se fundamenta en varias premisas:

1. La teoría genética de estos sistemas ya no corresponde al campo experimental.
2. Los métodos de detección son controlables y, además de seguros, son realizados con razonable facilidad.
3. Existen tablas de frecuencias de genes adaptadas al grupo étnico y al lugar geográfico de la investigación.
4. Pueden valorarse otros factores que inciden en el estudio.
5. Puede realizarse un adecuado control de calidad en cuanto a los procedimientos, materiales y equipos.
6. Los estudios deben realizarse por expertos bien calificados.

LA SECCIÓN DE BIOQUÍMICA (BQM) DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORENSES

La Sección de Bioquímica del Departamento de Ciencias Forenses distribuye sus funciones en dos áreas básicas:

- La Unidad Centralizada de Inspección de Indicios (UCII) y

- La Unidad de Genética Forense (UGF), que realiza las pruebas de ADN.

La UCII tiene bajo su responsabilidad la identificación y recolección inicial de fluidos biológicos y elementos traza en todo tipo de evidencias. Por tanto, todo caso criminalístico que requiere la comparación de perfiles de ADN es analizado inicialmente por la UCII; esto, con excepción de la identificación de restos óseos y las pruebas de paternidad en casos de violación que ingresan directamente a la UGF.

Como se muestra en la Tabla 1, se ha producido en los últimos años un incremento considerable de los casos remitidos a la Sección de Bioquímica del DCF para investigaciones de paternidad, la mayoría de ellas remitidas por los Juzgados de Familia (95% en el 2002).

Las cifras de la Tabla 1 permiten concluir que:

- El número de investigaciones de paternidad ordenadas por las Autoridades Judiciales durante 2002 supera en un 316% las ordenadas durante el año 1998.
- Se ha mantenido a lo largo de los años la tendencia según la cual la mayoría de las veces (en promedio en cerca del 65% de los casos), una de las partes o ambas

no asisten a las citas solicitadas por la Autoridad Judicial

- Sigue habiendo un importante atraso en el tiempo de respuesta del laboratorio ante la demanda creciente de pruebas de ADN. Se espera que este parámetro pueda ser considerablemente disminuido a inicios del 2004 con la compra de equipo adicional (sobre todo de un analizador genético) y la contratación de nuevos analistas, condiciones que han sido declaradas como prioridades del laboratorio a corto plazo.

En relación con los resultados obtenidos en las paternidades, en el Gráfico 2 se muestra que en la mayoría de las investigaciones (promedio: 88%) se produce la inclusión del padre (es decir, el supuesto padre es confirmado co-

mo el padre biológico del niño (a)). Todo lo contrario sucede en los juicios por impugnación en los cuales la inclusión se produce sólo en aproximadamente 1 de cada 4 investigaciones (en 24 % de ellas en promedio).

En lo referente a casos criminalísticos, como puede apreciarse en el Gráfico 3, la mayoría de los casos remitidos durante el año 2002 por las Fiscalías para análisis por ADN, correspondieron a homicidios (31%) paternidades por abuso sexual (26%) y abuso sexual (23%).

Finalmente, parece de relevancia señalar que, con la excepción de las pruebas de paternidad y la identificación de restos óseos, las muestras provenientes de otros tipos de casos (abuso sexual, homicidios, robo, etc.) que deben ser procesadas por ADN son sólo

Gráfico 2

Inclusiones de paternidad (%) según año y tipo de causa judicial

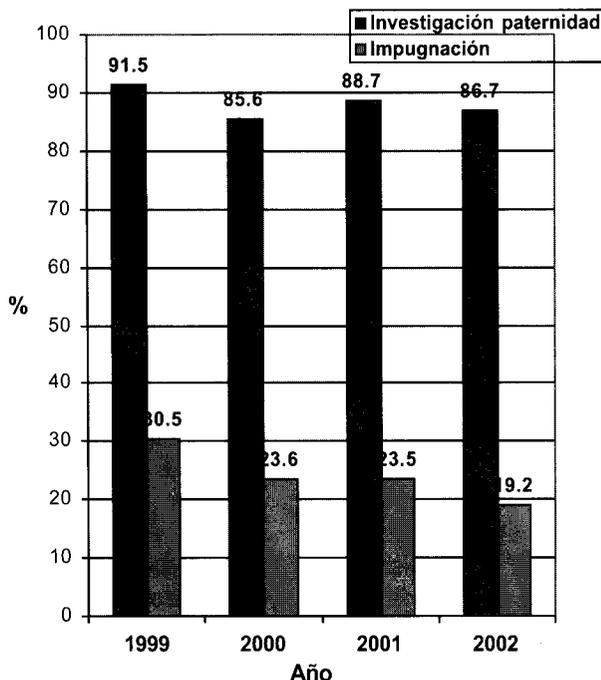
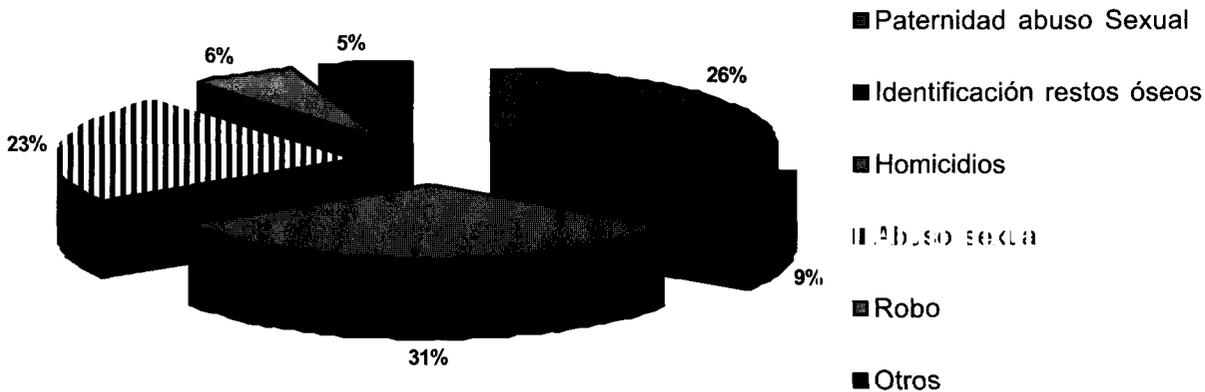


Gráfico 3

Distribución de los casos remitidos por la fiscalía según causa judicial, 2002 (269)



una pequeña fracción del total recibidos en la UCII (ver Figura 1). Las pruebas de ADN son, en realidad el final de un protocolo de análisis que debe aplicarse a cada muestra en particular.

La variedad del origen de los indicios y de las circunstancias en las cuales los mismos son recolectados obliga, a la Sección de Bioquímica a contar con diversas pruebas preliminares para la detección de fluidos biológicos (semen, saliva, sangre, etc.) en los cuales eventualmente podrían encontrarse células conteniendo ADN. Dependiendo del resultado de las mismas (se define la necesidad o no (o la viabilidad) de proceder a los análisis de marcadores de ADN cuyo costo es muchísimo más alto. Esto sólo sucede en 3% de los casos de abuso sexual y en el 7% de los casos de robos y homicidios.

Las pruebas de ADN son usualmente, por tanto, el final de un largo proceso de análisis cuyos resultados deben integrarse en una marcha analítica que permita explotar al máximo el potencial que el laboratorio brinda al sistema de justicia del país.

CONCLUSIONES

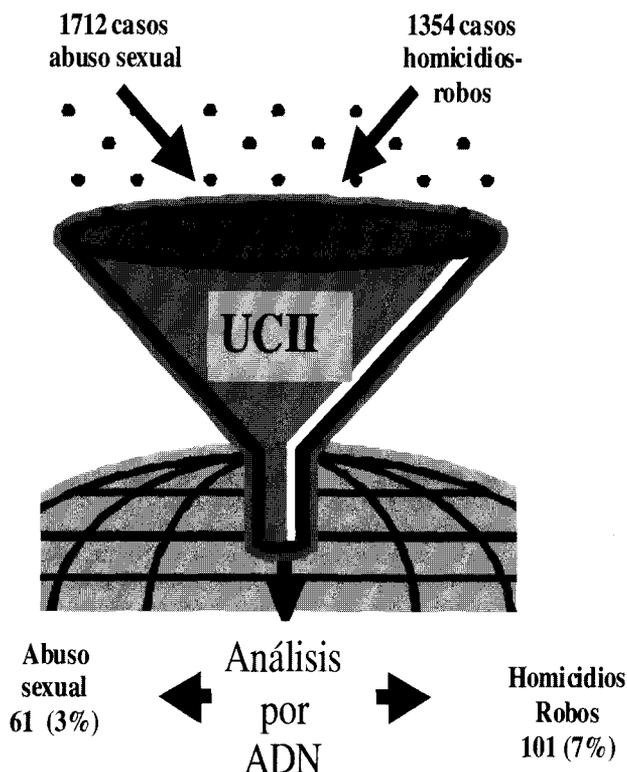
1. La tecnología del ADN constituye hoy un elemento fundamental en el aporte que el laboratorio forense brinda al sistema judicial en prácticamente todos los países del mundo y, por supuesto, en Costa Rica. El desarrollo alcanzado incluye la implementación de estrictos programas de control de calidad intra e inter-laboratorios y de procedimientos estadísticos que han reforzado enormemente el potencial analítico de dichos procedimientos.

2. En forma rutinaria, hoy día la tecnología del ADN se aplica fundamentalmente en la investigación biológica de la paternidad, en el análisis de indicios en criminalística biológica y en la resolución de problemas de identificación (desapariciones, desastres, etc.)

3. Las pruebas de ADN deben considerarse en el marco de una marcha analítica que incluya muchas otras pruebas cualitativas y cuantitativas que deben aplicarse dependiendo de la naturaleza de los indicios y las circunstancias de cada caso. La Sección de Bioquímica del

Figura 1

Fracción del total de muestras analizadas por ADN, según caso, año 2002.



Poder Judicial ha detectado un incremento considerable en las solicitudes de esos análisis en los últimos años y realiza hoy un esfuerzo para actualizar las tecnologías requeridas y apoyar las instancias judiciales que las requieran de una forma cada vez más pronta y oportuna.

BIBLIOGRAFÍA

1. Andradas José. *El análisis de ADN en los vestigios biológicos*. Ciencia Policial 1998; 40: 91-103.
2. Buttler J M. *Forensic DNA typing*. 2001; Academic Press p.13-24.

3. Evett WI and Weir BS. *Interpreting DNA Evidence*, Sinauer, Sunderland, MA, 1988.
4. Carracedo A. *DNA Profiling*. 1st International DNA Users's Conference. Noviembre 1999.
5. Benecke M. *DNA typing in forensic medicine and criminal investigations: a current survey*. *Naturwissenschaften*, 1997, 84, 181-188
6. Carracedo A y Barros F. *Probabilidad Bioestadística en Genética Forense*. Universidad de Santiago de Compostela, 1996.
7. Rudin N, Inman K. (2002) *An Introduction to Forensic DNA Analysis*. 2nd Ed. CRC Press, Florida, p. 97.

8. Martínez M (Ed.). (1999) *La prueba del ADN en medicina forense*. Masson SA. Barcelona, España. p. 130.
9. Egeland, T. et al (2000). *Beyond traditional paternity and identification cases: selecting the most probable pedigree*. *Forensic Sci Int* 110, pp. 47-59.
10. Egeland, T. and Mostad, P.F. (2000). *Statistical Genetics and Genetical Statistics: a Forensic Perspective*. *Scand J Statist* 29, pp. 297-307.
11. Cunningham, E P and Meghen CM. Biological identification systems: genetic markers. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz*, 2001, 20 (2): 491-499.
12. Verruno L, Haas EJC, Raimondi EH y Legaspe E (1996). *Manual para la Investigación de la filiación*. Editorial Abeledo-Perrot, 2da ed. Buenos Aires p. 20.