

00781

1
2.ej



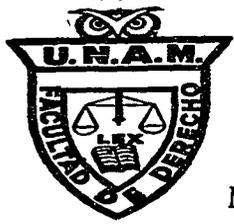
**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE DERECHO
División de Estudios de Posgrado

**EL CODIGO GENETICO CONTENIDO EN
EL A. D. N. COMO PRUEBA PERICIAL**

T E S I S
Que para obtener el Grado de
DOCTORA EN DERECHO
p r e s e n t a

LIC. JULIA ESTHER ALONSO GARCIA



FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1995



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE DERECHO
DIVISION DE ESTUDIOS
DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Of. No. 414/95/014

SR. LIC. ANTONIO F. DIAZ GARCIA
Jefe de la Unidad de Registro e Información
de la Secretaría Ejecutiva del Consejo de
Estudios de Posgrado de la U.N.A.M.
P r e s e n t e .

Nos referimos al examen de Doctorado en Derecho, que con
la tesis denominada "EL CODIGO GENETICO CONTENIDO EN EL
A.D.N. COMO PRUEBA PERICIAL ", sustentará la Licenciada
JULIA ESTHER ALONSO GARCIA.

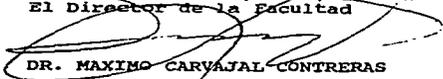
Al efecto, la Dirección a mi cargo ha designado el jurado
correspondiente, que integrarán como sinodales
propietarios los señores profesores:

Presidente:	DR. FERNANDO CASTELLANOS TENA
Primer Vocal:	DR. RAUL CARRANCA Y RIVAS
Segundo Vocal:	DR. PEDRO HERNANDEZ SILVA
Tercer Vocal:	DR. MOISES MORENO HERNANDEZ
Secretario:	DR. ALVARO BUNSTER BRISEÑO

Y como sinodales suplentes, los señores profesores:

DR. RAFAEL MARQUEZ PIÑERO
DR. JUVENTINO V. CASTRO Y CASTRO

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a 20 de Marzo de 1995
El Director de la Facultad


DR. MAXIMO CARVAJAL-CONTRERAS

PGZM*Imb.

EL CODIGO GENETICO CONTENIDO EN EL ADN COMO PRUEBA PERICIAL.

La prueba en general es el tema del primer capítulo de este trabajo, en el cual se dan diversas definiciones de autores mexicanos, argentinos e italianos, se habla de su naturaleza jurídica y cual es su objetivo dentro del juicio.

En el segundo capítulo nos avocamos a tratar la prueba pericial en específico, ya que el tema toral de este trabajo es una prueba pericial y después de dar un concepto de ella, se habla de su naturaleza jurídica, se mencionan los requisitos para ser perito y cual es la valoración de la prueba pericial.

El tercer capítulo es una introducción para tocar el tema principal, pues en el se dice qué es el código genético a partir de la célula, se describe como se forma y como se de cifra, por tanto, este capítulo es totalmente ajeno al Derecho, pues se trata de de la genética que es una area de otra disciplina científica, como lo es la química.

En cambio, en el último capítulo se habla de la aplicación de esta técnica química al Derecho. Se describe la técnica y se habla de su inventor. Se dan a conocer las tres grandes empresas que en los Estados Unidos de Norteamérica, hacen este tipo de pruebas y las diferencias en sus técnicas.

Esta técnica sirve como prueba pericial para resolver los problemas planteados en el Derecho Civil para resolver las paternidades en disputa, incluyendo las de los hijos póstumos.

En el Derecho Penal para resolver los casos de homicidio, - violaciones, incluyendo la tumultuaria y para la identificación de cadáveres mutilados, carbonizados o en descomposición. Además, se da una panorámica de lo que ha sido esta - prueba en el medio forense norteamericano y la propuesta que

2.-

existe para crear un banco de huellas genéticas en lugar de el de huellas digitales que ahora existe, por ser más precisas.

Se incluye un glosario, debido a que las palabras que fueron inventadas para esta técnica, aun no vienen los diccionarios.

Por último, se dan siete conclusiones personales sobre el trabajo.

A MIS PADRES Y HERMANOS

*Por su ejemplo de trabajo
y honorabilidad.*

AL

DR. RAFAEL MARQUEZ PIÑERO

**POR SU GENTILEZA Y AYUDA EN LA
ELABORACION DE ESTA TESIS**

AL

DR. JOSE ZORRILLA MARTINEZ

**POR SU AYUDA . CONSTANTE
DURANTE Mi POSTGRADO**

A MIS AMIGOS LOS LICENCIADOS

RAFAEL MATEOS POUMIAN

Y

RICARDO NAJERA HERRERA

POR SU DECIDIDO APOYO.

AL

Q.F.C. ALFONSO LUNA

**POR LA REVISION, CORRECCION Y
CONSEJO QUE HIZO POSIBLE LA
TERMINACION DE ESTA TESIS.**

**EL CODIGO GENETICO
CONTENIDO EN EL ADN COMO
PRUEBA PERICIAL**

INDICE GENERAL

	Página
CAPITULO I. LA PRUEBA EN GENERAL.....	
1.- Concepto de Prueba.....	1
2.- Naturaleza Jurídica.....	8
3.- El objeto de la prueba.....	10
CAPITULO II. LA PRUEBA PERICIAL.....	
1.- Concepto de la Prueba Pericial.....	14
2.- Naturaleza Jurídica.....	19
3.- Requisitos para ser Peritos.....	19
4.- Valoración de la Prueba Pericial.....	21
CAPITULO III. EL CÓDIGO GENETICO.....	
1.- Los Elementos.....	27
A.- El Átomo.....	27
B.- Las Moléculas.....	28
a.- Cadenas de Carbono.....	28
b.- Carbono de Anillos.....	29
2.- Moléculas Gigantes.....	30
A.- Los Aminoácidos.....	33
B.- Las Proteínas.....	34
3.- Localización del Código Genético.....	38
A.- El Ácido Nucleico.....	38
4.- De Cadena a Hélice.....	44
5.- La doble Hélice.....	44
A.- La Marca Individual Especifica del ADN Humano.....	45
a.- Qué es un Genoma.....	45
b.- Qué es el Código Genético.....	47
B.- La combinación Purina Pirimidina.....	48
a.- El Citoplasma.....	51
6.- La forma en que se Confecciona la Clave o Código.....	52
7.- Manera de Descifrar el Código.....	53
CAPITULO IV. LA APLICACION DE LOS ANALISIS DE ADN.....	
1.- El análisis de los genomas de ADN.....	61

CAPITULO IV. LA APLICACION DE LOS ANALISIS DE ADN.....	50
1.- El análisis de los genomas de ADN.....	61
A.- La Tecnología.....	68
a.- Su Inventor.....	75
B.- Las Técnicas Usadas.....	76
a.- Técnica usada por Cellmark Diagnostics.....	83
b.- Técnica usada por Lifecodes Corporation.....	89
c.- Técnica usada por Cetus Corporation.....	91
a).- Técnica de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (P.C.R.).....	95
2.- La forma de obtener y preservar la evidencia.....	95
A.- Forma de transferir la evidencia biológica.....	95
a.- Depósito directo.....	97
b.- Transferencia secundaria.....	98
B.- Forma de Recabar la evidencia.....	99
C.- Forma de Documentar la evidencia.....	100
a.- La evidencia en la escena del crimen.....	101
b.- La evidencia en el laboratorio forense.....	101
D.- Forma de empacar la evidencia.....	102
a.- Sangre y manchas de sangre.....	103
a).- Sangre líquida.....	104
b).- Líquidos.....	104
b).- Manchas de sangre fresca.....	105
a).- Prendas de vestir con manchas de sangre....	105
b).- Objetos con manchas de sangre fresca.....	105
c.- Manchas de sangre seca.....	106
a).- Manchas de sangre seca en objetos.....	106
b).- Manchas de sangre seca sobre sólidos.....	106
c).- Manchas de sangre en objetos grandes e inamovibles.....	107
d).- Manchas secas de sangre sobre objetos que pueden ser cortados.....	108
108	
E.- Semen y manchas de semen.....	108
a).- Semen y manchas de semen líquido encontrado en la escena del crimen.....	110
b).- Manchas de semen sobre objetos muebles...	110
c).- Manchas de semen sobre superficies grandes que pueden ser cortados.....	110
d).- Manchas de semen que no absorben y que son inamovibles.....	110
e).- El semen como evidencia en delitos sexuales.....	111
f.- Piel, órganos y huesos.....	112
a).- Piel, órganos y huesos frescos.....	112

g.- Orina, saliva y otros fluidos del cuerpo.....	113
a).- Manchas.....	113
h.- Cabellos.....	113
F.- Procedimientos iniciales de los laboratorios.....	114
G.- Procedimientos para enviar muestras.....	117
H.- Forma de preservar el envío.....	118
I.- Procedimiento de cadena de custodia.....	119
J.- Reporte del resultado de la prueba.....	121
3.- Las pruebas de ADN en el Derecho Civil.....	125
A.- En casos de paternidad disputada.....	125
a.- Materiales y métodos usados.....	130
b.- Metodología ADN.....	131
c.- Interpretación de la autorradiografía.....	132
d.- Resultados.....	133
e.- Pruebas de antisuero.....	136
f.- Los análisis de ADN.....	137
g.- Resultados.....	141
h.- Conclusión.....	143
B.- Identificación de hijos póstumos.....	146
C.- El ADN y las pruebas de paternidad en las cortes norteamericanas.....	148
4.- Las pruebas de ADN en el Derecho Penal.....	161
A.- En casos de identificación de cadáveres en descomposición.....	161
a.- Métodos y materiales usados.....	163
b.- Resultados.....	164
c.- Conclusión.....	167
B.- En casos de violación incluida la tumultuaria.....	168
C.- En casos de homicidio.....	171
5.- La Posible Creación de un Banco de Datos de Huellas Genéticas en E.U.A.	172
6.- Glosario.....	180
Bibliografía.....	206

INTRODUCCIÓN

Como inicio al tema que nos ocupa, hemos estimado conveniente adelantar algunos conceptos a manera de introducción para fijar una idea de la materia de este trabajo.

Diversos tratadistas han sostenido que la sentencia es el momento culminante de la actividad jurisdiccional que pone fin a un juicio y es en esta resolución donde el juzgador apreciará y valorará los elementos probatorios reunidos durante el proceso.

Por tanto, la sentencia definitiva viene a constituirse en el resultado formal del proceso, o sea, que la aplicación o no aplicación de las sanciones penales al inculpado, se derivará necesariamente de la decisión de culpabilidad o inculpabilidad resultante de la calificación que se haga de las pruebas aportadas al juicio, calificación que será más fácil de aplicar cuando la prueba ofrecida sea más técnicamente irreprochable.

Para la apreciación de las pruebas que el juzgador deberá valorar, se han empleado tradicionalmente tres sistemas. El primero de ellos es el llamado prueba tasada, en el cual la ley fija determinado valor a las pruebas.

Cuando la ley no fija determinado valor, sino que la determinación queda sujeta a la libre estimación del órgano jurisdiccional, nos encontramos ante el sistema designado como de libre apreciación.

Por último, el tercero de estos métodos es el Mixto, ya que es una mezcla de ambos.

Normalmente el juzgador para integrar su convicción tendrá que apreciar por sí mismo las circunstancias de los hechos relativos al caso concreto que le ocupa, usando para tal efecto los medios probatorios que la ley le señala, sin embargo, dada la variedad de formas en que se desenvuelve la actividad humana, no será posible para el juez apreciar aquellas que demandan poseer profundos conocimientos en determinada ciencia, arte o industria, por lo cual tendrá que recurrir a expertos en esta materias.

Estos expertos son los peritos, cuya concurrencia al juicio coadyuvará a la labor del juzgador, allegándole conocimientos distintos a los del Derecho, que puede ser de vital influencia en el resultado del proceso, por la convicción que aporten al mismo.

Para esto se emplean laboratorios periciales cada vez más sofisticados y por tanto, con peritos más especializados.

Las pruebas periciales que hasta recientemente se hacían en países como Estados Unidos, Inglaterra y España, con evidencia biológica, encontradas generalmente en el lugar del crimen, tales como sangre, semen, cabellos o piel,

eran entre noventa y noventa y cinco por ciento correctas, dejando por lo tanto, siempre elementos de duda.

Actualmente, el análisis de ADN no deja, ni remotamente, lugar a duda, haciendo una identificación absoluta que antes no era posible lograr.

Desde que se descubrió el uso de las huellas digitales en los casos penales, no había un avance semejante al que se ha logrado con el ADN.

En nuestro país se aplican los conocimientos sobre el ADN únicamente en el campo de la medicina y la genética, no existen todavía laboratorios periciales que lleven a efecto la prueba.

En los casos en que esta técnica ha sido usada para dirimir alguna controversia, principalmente en juicios del orden civil, las muestras de material biológico se han enviado a cualesquiera de las tres grandes empresas norteamericanas que hacen este tipo de pruebas, para que allá se efectúe la extracción del código genético de ambas muestras, la muestra problema y la muestra testigo, para hacer la debida comparación y solamente se envían los resultados, los cuales en forma terminante dirán si la evidencia biológica tiene el mismo código genético o no.

La intención de este trabajo es dar a conocer en el medio jurídico mexicano una prueba pericial que se aplica con éxito desde 1985 en países científicamente muy desarrollados.

Para cumplir con esta intención, se ha tratado de poner en palabras sencillas, una técnica altamente sofisticada, razón por la cual en ocasiones, somos reiterativos.

De esta forma se trata de cumplir con el objetivo de informar a los abogados sobre los principios generales en los cuales se basa esta técnica para extraer el código genético, que servirá como prueba y se enteren de las implicaciones que puede tener, tanto en el derecho penal como en el civil.

Debido a que los delitos de homicidio y violación a los cuales se califica como graves en las reformas recientes al Código Penal para el Distrito Federal en Materia Común y para toda la República en materia del Fuero Federal, publicadas en el Diario Oficial de la Federación del 10 de enero de 1994, despierta sentimientos de repudio en la sociedad, es necesario que los autores de los mismos sean plenamente identificados, con el objeto de que no quede duda alguna de su culpabilidad y por tanto, no queden impunes.

La incorporación al proceso mexicano, tanto civil como penal, de la huella del ADN en forma de prueba pericial, consideramos que será un paso trascendental, ya que siendo una técnica tan avanzada y sofisticada cuyo resultado es de toda certeza, suponemos que revolucionará el medio jurídico debido a que hasta ahora, los códigos de procedimientos indican que "...las pruebas periciales serán tomadas como meros indicios...", sin embargo, en la prueba que nos ocupa, el resultado es contundente, ya que no deja margen de error, por tanto, deberá ser considerada como prueba plena.

El uso de la prueba de ADN en nuestro medio jurídico, puede llegar a cambiar las técnicas de defensa en los juicios en los cuales la identidad es primordial, pues existiendo una prueba que identifica sin ningún lugar a dudas, al probable responsable de violación o de homicidio, por ejemplo; acabaría con cualquier alegato de inocencia.

Por supuesto que el uso de esta prueba puede tanto exonerar de culpa a un sospechoso como condenarlo irremediabilmente, por tanto, esta prueba será de gran beneficio a quien es acusado injustamente, sin importar que las pruebas presuncionales o circunstanciales lo indiquen.

CAPITULO I
LA PRUEBA EN GENERAL

1.- Concepto de Prueba.

2.- Naturaleza Jurídica.

3.- El objeto de la prueba.

1.- Concepto de Prueba.

Con el objeto de iniciar este trabajo sobre una prueba pericial, intentaremos dar un concepto de la palabra prueba, que nos sirva como base para el desarrollo del tema.

"Prueba, como la mayoría de las voces, llega a nuestro idioma procedente del latín; en el cual, probatio, probationis, lo mismo que el verbo correspondiente (probo, probar, probare) vienen de probus, que quiere decir bueno, recto honrado. Así pues, lo que resulta probado es bueno, es correcto, podríamos decir que es auténtico; que responde a la realidad. Esta y no otra, es la verdadera significación del sustantivo probo y del verbo probar: verificación o demostración de autenticidad". (1) Esta es la etimología de la palabra prueba de acuerdo a Santiago Sentis Melendo, cuya definición se ha vuelto clásica en nuestro medio.

Por cuanto hace a la definición que de prueba han dado diversos autores clásicos:

MITTERMAIER(2) en su Tratado de La Prueba en Materia Criminal establece que es "... la suma de los factores que producen la certidumbre, constituyen la prueba...".

(1) Naturaleza de la Prueba. Ed. EJE. Buenos Aires. 1978. p. 34

(2) La Prueba en materia criminal. Ed. Reus, S.A. Madrid. 1929. p.39.

EDUARDO J. COUTURE⁽³⁾ en el Tomo I, llamado La Constitución y el Procedimiento Civil de su obra Estudios de Derecho Procesal Civil, nos indica que "La prueba civil, a pesar de lo que dicen ciertas definiciones legales, no es un medio de averiguación, sino un medio de contralor (sic) de las proposiciones de hechos formuladas por las partes. Según el viejo aforismo "probar es vencer", porque probar es persuadir de la verdad de los hechos, de la misma manera que alegar es persuadir de la verdad de la tesis de derecho".

NICOLA FRAMARINO DEI MALATESTA⁽⁴⁾ sobre la materia nos dice: "La prueba puede considerarse bajo un doble aspecto: Puede considerarse en cuanto a su naturaleza y a su producción, y puede considerarse en cuanto al efecto que produce en el ánimo de aquel ante quien se verifica. Bajo este segundo aspecto se resuelve en la certeza, en la probabilidad y en la credibilidad".

"El verbo probar significa en derecho procesal producir judicialmente en el ánimo del juez la convicción de la existencia o de la inexistencia de los hechos controvertidos en el juicio."⁽⁵⁾

La generalidad de estos pensadores convienen en que igualmente se da el nombre de prueba al hecho conocido del cual el desconocido se deduce.

(3) Estudio de Derecho Procesal Civil. EDIAR. Soc. Anón. Editores, Sucesores de Compañía Argentina de Edotores, S.R.L. Buenos Aires. 1948. p. 65.

(4) Lógica de las Pruebas en Materia Criminal. Tomo primero. La España Moderna. Madrid. 1984. p. 101.

(5) Pallares, Eduardo. Apuntes de Derecho Procesal Civil. Ed. Botas. México. 1964. p. 229.

Los autores mexicanos que fueron los primeros en referirse al tema que estamos tratando, externaron las opiniones siguientes:

RICARDO RODRIGUEZ,⁽⁶⁾ autor de unas de las primeras obras de la especialidad titulada Procedimiento Penal en México. Estima a la prueba como "...la demostración de un hecho que ha existido y sus condiciones morales..."

JUAN JOSE GONZALEZ BUSTAMANTE⁽⁷⁾, textualmente nos dice: "...Por prueba se entiende lo que persuade el espíritu; todo lo que existe en el proceso que puede servir para establecer los elementos necesarios del juicio..."

JAVIER PIÑA Y PALACIOS⁽⁸⁾, refiriéndose a la materia que nos ocupa, establece que "...la prueba puede definirse diciendo que es el medio de llegar al conocimiento de la verdad..."

Manuel Rivera Silva⁽⁹⁾ en su obra El Procedimiento Penal, nos dice: "...En términos generales, medio de prueba es el modo o el acto con el cual se suministra conocimiento sobre algo que se debe determinar en el proceso..."

(6) El Procedimiento Penal en México. Ed. Porrúa, S.A. México. 1958. p. 201.

(7) Principios de Derecho Procesal Penal Mexicano. Editorial Porrúa, S.A. México. 1985. p.530.

(8) Derecho Procesal Penal. Ed. Talleres Gráficos. México. 1948. p. 330.

(9) El Procedimiento Penal. Ed. Porrúa, S.A. México. 1986. p. 202.

En los últimos tiempos, los autores mexicanos han externado las opiniones siguientes:

GUILLERMO COLIN SANCHEZ⁽¹⁰⁾, en su obra Derecho Mexicano de Procedimientos Penales considera que la prueba es "Todo medio factible de ser utilizado para el conocimiento de la verdad histórica y personalidad del delincuente, para de esta manera estar en aptitud de definir la pretensión punitiva estatal".

MARCO ANTONIO DIAZ DE LEON⁽¹¹⁾, en su obra Tratado sobre las pruebas penales la define "Como un principio procesal que denota, normativamente, el imperativo de buscar la verdad, de que se investigue o en su caso se demuestre la veracidad de todo argumento o hecho que llegue al proceso para que adquiera validez en una sentencia justa".

Por su parte, JORGE ALBERTO SILVA SILVA ⁽¹²⁾ en su obra Derecho Procesal Penal aunque no da una definición propia sobre la prueba, sí hace una distinción entre las tres acepciones de la palabra que siempre se han usado en español en forma equívoca, aclarando que en otros idiomas, por ejemplo, el inglés existen diferentes palabras para designarlas, así comenta que: Evidence. "Evidencia quiere decir las fuentes de prueba" y por nuestra parte, agregaríamos que prueba quiere decir evidencia, indicio, dato, entre otros.

(10) Derecho Mexicano de Procedimientos Penales. Porrúa, México. 1992. p. 340

(11) Tratado sobre las Pruebas Penales. Edit. Porrúa, S.A. México. 1991. p. 256.

(12) Derecho Procesal Penal. Edit. HARLA. México. 1990. p. 542.

Test que aunque este autor no lo menciona, quiere decir probar, analizar, examinar o experimentar y que por lo tanto sería la tercera acepción usada en nuestro derecho que es "El procedimiento tendiente a incorporar la fuente de prueba" como la señala el autor en comento y, por último.

Proof, como él lo indica en su obra ya citada, ⁽¹³⁾ equivale al resultado obtenido, lo que Devis Echandía llama "El conjunto de razones o motivos que producen el convencimiento o la certeza del juez respecto de los hechos sobre los cuales debe proferir su decisión, obtenidos por los medios, procedimientos y sistemas de valoración que la ley autoriza". ⁽¹⁴⁾

La figura de la prueba se encuentra ramificada en todo proceso y es compleja, por lo que para su definición daremos aún otros conceptos:

Aristóteles sobre esta palabra sostuvo que: "La demostración es un argumento o silogismo que engendra ciencia, cuyas premisas son proposiciones verdaderas, primeras e inmediatas, más claras que la conclusión, anteriores a ella y son causas de la misma". ⁽¹⁵⁾

(13) *Idem.* p. 542.

(14) *Nociones Generales de Derecho Procesal Civil.* Edit. Aguilar. Madrid. 1986. p. 73.

(15) Citado por Pallares Eduardo. *Diccionario de Derecho Civil.* Edit. Porrúa, S.A., México. 1977. p. 65.

Este concepto se refiere a la prueba deductiva, los calificativos "Primeras e inmediatas", significan que las proposiciones de que se trata han de ser indemostrables y primeras en el orden lógico, esto es, que no se apoyan en ninguna, sino que sean evidentes por sí mismas (16).

EDUARDO PALLARES nos da una definición del sustantivo prueba "se refiere al medio o instrumento de que se sirve el hombre para evidenciar la verdad o la falsedad de una proposición, la existencia o inexistencia de algo". (17)

Bonnier opina que: "Si la ciencia del derecho se dirige a satisfacer la conciencia humana, por su objeto, que no es otro que la consagración de las reglas de la justicia en cuanto interesa a la sociedad su sostenimiento, esta ciencia responde igual a la necesidad de la humanidad, cuando se propone por objeto, en la esfera que le está señalada, el descubrimiento de la verdad, tan necesario a la inteligencia del hombre como lo es la justicia a su conciencia. Descubrimos la verdad cuando hay conformidad entre nuestras ideas y los hechos del orden físico o del orden moral que deseamos conocer. Probar es establecer la existencia de esta conformidad. Las pruebas son los diversos medios por los cuales llega la inteligencia al descubrimiento de la verdad". (18)

(16) Idem. p. 66.

(17) Idem. p. 66.

(18) Bonnier, Edouard Louis Joseph. Tratado Teórico Práctico de las Pruebas en Derecho Civil y Penal. Ed. Imprenta de Jurisprudencias. Madrid 1874. p. 5.

Nos señala además el mismo autor en su obra Tratado teórico práctico de las Pruebas en Derecho Civil y Penal, que no debemos caer en el error de confundir a la prueba adquirida con los medios de prueba.⁽¹⁹⁾

La palabra prueba adquirida, dice Bentham ⁽²⁰⁾ "Tiene algo engañoso, pues parece que lo que se llama así tiene una fuerza suficiente para determinar la creencia; pero no debe entenderse por ello, más que un medio de que nos servimos para probar la verdad de un hecho, medio que puede ser bueno o malo, completo o incompleto. Así es que, se puede haber acumulado todo tipo de pruebas, es decir, todos los medios de prueba, sin que exista en el ánimo del juez PRUEBA, esto es, sin que se haya formado convicción en su ánimo".

Por su parte CARRARA⁽²¹⁾ tiene una definición de pruebas muy concisa y en la cual hace un profundo señalamiento, "La certeza está en nosotros", cuando afirma: "todo lo que sirve para darnos certeza acerca de la verdad de una proposición. La certeza está con nosotros; la verdad, en los hechos".

Si la prueba nos conduce a la certeza, se llama prueba plena, cuando nos lleva a la probabilidad, se llama semiplena. Esta última no es suficiente para declarar culpabilidad; pero hay que recordar, que la probabilidad es necesaria para legitimar la acusación.

(19) *Idem*, p. 12.

(20) Bentham, Jeremías. *Tratado de las Pruebas Judiciales*. Edit. E.J.E.A. Buenos Aires. 1959. p. 18.

(21) Cámara, Francisco. *Programa de Derecho Criminal*. Edit. Temis. Bogotá. 1957. Vol. II. p. 381.

Remitiéndonos al artículo 280 del Código Federal de Procedimientos Penales, constatamos que establece que: Los documentos públicos **harán prueba plena**, salvo el derecho de las partes para redargüirlos de falsedad y para pedir su cotejo con los protocolos o con los originales existentes en archivos.

e

Por último, el código en comento señala en el artículo 284 "La inspección, así como el resultado de los cateos, **hará prueba plena** siempre que se practiquen con los requisitos legales".

En lo referente a las pruebas libres o de sana crítica, en el artículo 285 se indica "Todos los demás medios de prueba o de investigación y la confesión, salvo lo previsto en el segundo párrafo del Artículo 179, **constituyen meros indicios**".

De todo lo anteriormente expuesto, **debemos concluir que la prueba tiene como finalidad práctica demostrar la existencia de un hecho o su inexistencia, por conducto de los medios de prueba, que deberán ser examinados y valorizados por el juzgador.**

2.- Naturaleza Jurídica.

Para algunos autores, como ya antes lo comentamos, prueba es la mecánica de probar, para otros es la certeza y para otros más, es la verdad.

La prueba es el centro de toda investigación, de cualquier clase de conocimiento, tanto empírico como científico.

La prueba en el derecho es parte de una de sus disciplinas, el Derecho Procesal, y es la base de la misma.

DIAZ DE LEON MARCO ANTONIO⁽²²⁾, señala que el derecho se ha servido de la prueba para fundar los argumentos en que ha fincado su saber, los que a su vez dan sostén a otros juicios. De esta forma, se desarrolla el método del pensamiento científico-jurídico.

La prueba ha servido para establecer las leyes de los entes ideales en las ciencias formales, como las matemáticas; en las ciencias fácticas, como el derecho y ha permitido el progreso en el saber jurídico.

La expresión prueba en el ámbito jurídico-procesal tiene dos significados:

- a.- Denota un sistema de normas adjetivas y
- b.- Un sistema de conceptos.

Ambos sentidos concuerdan con los dos momentos del concepto, que es la actividad pensante y a la vez, el objeto pensado.

(22) Cfr. Op. Cit. pp. 246-247.

Conforme al análisis que hace el autor en comentario, señalamos que el objeto de conocimiento **prueba**, no debe confundirse con **probar**, puesto que uno es sujeto y el otro es verbo.

La doctrina del Derecho Procesal ha manifestado que la prueba es una necesidad de saber, para la verdad de los hechos dentro del proceso; como un requisito indispensable que equivale al requerimiento.

La prueba en sí es un juicio, una idea de necesidad de demostrar, verificar o investigar la verdad de lo afirmado durante el proceso.

3.- El objeto de la prueba.

El objeto de la prueba deben ser los fines que persigue el proceso, resultando que debe entenderse que busca llegar a la verdad histórica, esto quiere decir, la verdad a la que necesariamente debe llegar el juzgador para pronunciar su sentencia.

Por tanto, estimamos que el objeto de la prueba es indiscutiblemente servir como fuerza motriz para el desarrollo del proceso, toda vez que constituye el tema que deberá demostrarse para producir convicción suficiente de la existencia de la verdad en el criterio del juzgador, el cual la apreciará y hará patente al dictar su fallo, realizándose así el fin específico del proceso.

A continuación los tratadistas aquí aludidos desde un punto de vista general, nos hacen saber cuales son las materias que pueden ser objeto de prueba y así tenemos que se hace referencia a los elementos de hecho, considerándolos en forma amplia; a los principios de la experiencia y a las normas jurídicas.

Con relación al elemento **hecho**, se nos señala que los acontecimientos o hechos ocurridos pueden ser internos o externos; que serán de carácter externo aquellos que se realizan en el mundo exterior y que pueden ser apreciados con los sentidos y serán internos cuando sólo sucedan en la mente del individuo y que están relacionados con la conciencia del hombre.

Son además, materia de prueba los lugares, las cosas y las personas.

Los principios de la experiencia constituyen el segundo objeto de prueba. El conocimiento experimental está en este caso formado por lo usos, costumbres, etc., que proporciona la vida y a los cuales es innegable que se encuentra sujeto el hombre. Por lo tanto, el delincuente, su víctima, los testigos o las cosas relacionadas con el delito deberán haber sufrido la influencia de aquellas normas creadas por los usos y costumbres y existen para eso, estudios de victimología, modus operandi, etc.

Por último, veremos que siendo el juez el encargado de aplicar la ley, necesariamente debe conocer ésta, debido a su capacitación técnica, por lo cual podemos asentar que únicamente serán objeto de prueba las normas

jurídicas cuando determinadas circunstancias, vinculadas estrechamente con el delito o la materia en litigio, se funden en leyes extranjeras.

Desde el punto de vista particular, las dos características de la prueba señaladas por los tratadistas, son básicas: la **pertinencia** y la **utilidad**. Debe la prueba estar relacionada con el tema particular tratado en el litigio y servir para llegar a una convicción. De no ser así, su aportación al proceso es ociosa y sólo alargará el mismo.

La materia de estudio de esta tesis, es una prueba pericial y por tanto, es una institución de Derecho Procesal Penal, y que forma parte de los medios probatorios a los cuales ya hicimos referencia.

El Código de Procedimientos Penales para el Distrito Federal en su Artículo 135 reconoce como medios de prueba:

- "I.- La confesión.
- "II.- Los documentos públicos y privados.
- "III.- Los dictámenes de peritos.
- "IV.- La inspección judicial.
- "V.- Las declaraciones de testigos, y
- "VI.- Las presunciones.

"Se admitirá como prueba en los términos del artículo 20 fracción V de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, todo aquello que se ofrezca como tal, siempre que puede ser conducente, a juicio del Ministerio Público, juez o tribunal. Cuando el Ministerio Público o la autoridad judicial lo estimen necesario podrán, por algún otro medio de prueba, establecer su autenticidad".

Por su parte, el Código Federal de Procedimientos Penales en el Capítulo concerniente a la prueba, considera como medios para ésta:

- "1.- La confesión
- "2.- La inspección
- "3.- Peritos
- "4.- Testigos
- "5.- Confrontación
- "6.- Careos
- "7.- Documentos.

Y además en su artículo 206 dice que: "Se admitirá como prueba en los términos del artículo 20 fracción V de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, todo aquello que se ofrezca como tal siempre que pueda ser conducente, y no vaya contra el derecho, a juicio del juez o tribunal. Cuando la autoridad judicial lo estime necesario, podrá por algún otro medio de prueba, establecer su autenticidad".

CAPITULO II
LA PRUEBA PERICIAL

1.- Concepto de la Prueba Pericial.

2.- Naturaleza Jurídica.

3.- Requisitos para ser Peritos.

4.- Valoración de la Prueba Pericial.

1.- Concepto de la Prueba Pericial.

Después de consultar a los autores que anteriormente hemos citado, daremos un concepto personal sobre la prueba pericial, objeto de estudio de este capítulo. La prueba pericial es un medio que tiene el juzgador para obtener el conocimiento de la verdad, a través de un tercero versado en alguna ciencia, arte o profesión, oficio o industria.

En el capítulo precedente dejamos asentado que pueden ser objeto de prueba las personas, las cosas, los lugares etcétera y esto que es válido para la prueba en general, lo es también para la prueba pericial, pero con la circunstancia especial que debe existir la necesidad de que las apreciaciones que se establezcan no puedan llevarse a cabo sin la posesión de conocimientos profundos en determinada ciencia, arte, industria o profesión.

Las ideas que hemos transcrito nos concretan el tema de estudio.

Efectivamente, estando constituidos las máximas o principios por conocimientos que nos proporciona la vida práctica, creemos que para su captación bastarán los conocimientos propios que emanados de una cultura ordinaria, debe poseer el juzgador o llegar a una constatación por otros medios de prueba, sin embargo, en ocasiones esos principios pueden presentarse dotados de una gran complejidad que dificulte su manejo y en esos casos, es cuando el juzgador debe recurrir a la ayuda especializada que le permita

conocer el principio en cuestión, evitando así el incurrir en errores y supervalorar su capacidad.

En relación a este tema, veremos cual es el pensamiento de algunos procesalistas, que nos servirán de base para fundamentar nuestro criterio en relación con la prueba pericial, sobre la cual desarrollaremos el tema total de este trabajo.

RAFAEL DE PINA⁽²³⁾, al hablar del dictamen pericial, nos dice que cuando la apreciación de un hecho requiere de parte del observador, una preparación especial, obtenida por el estudio de la materia a que se refiere o simplemente por la experiencia que proporciona el ejercicio de una profesión u oficio, surge en el proceso la necesidad de la pericial.

CARLOS LESSONA⁽²⁴⁾ apunta que "... los hechos sobre los cuales ha de versar el peritaje, deben reunir los caracteres propios de los que pueden ser objeto de pruebas simples. Deben ser por lo tanto, ante todo, posibles; más la posibilidad no debe confundirse con la dificultad, porque a veces siendo posible el peritaje, resulta imposible por la voluntad o por los hechos de la parte contra la cual se pide..." .

(23) De Pina Vara, Rafael. Principios de Derecho Procesal Civil. Ed. Porrúa, S.A. México. 1991. p 173.

(24) Lessona Carlos, Teoría de la Prueba en Derecho Civil. Tomo IV. Ed. Reus. Madrid 1928. 2a. ed. Trad. Enrique Aguilera de la Paz. p. 558.

GUILLERMO COLIN SANCHEZ ⁽²⁵⁾ nos dice que la peritación "... es el acto procedimental en el que el técnico o especialista es (sic) un arte o ciencia (perito), previo examen de una persona, de una conducta o hecho, o cosa, emite un dictamen conteniendo su parecer y los razonamientos técnicos sobre la materia en la que se ha pedido su intervención".

JOSE BECERRA BAUTISTA ⁽²⁶⁾ a este respecto asevera que "...Los peritos o *judices facti* son las personas que auxilian al juez con sus conocimientos científicos, artísticos o técnicos en la investigación de los hechos controvertidos...".

Podríamos seguir haciendo alusión a conceptos de ilustres procesalistas, pero todos ellos nos llevarían a fijar la siguiente idea: que el objeto de la prueba pericial está fundamentalmente constituido por los hechos. Ciertamente es, que el análisis que hemos realizado nos lleva al convencimiento de que el único objeto de la prueba pericial por su importancia, está formado por los hechos, pero es pertinente aclarar que no se trata de cualquier clase de hechos, sino de únicamente aquellos que para su captación demandan conocimientos especiales.

(25) Colín Sánchez Guillermo Derecho Mexicano de Procedimientos Penales. Edit. S.A. México. 1992. p. 404.

(26) Becerra Bautista, José. El Proceso Civil en México. Edit. Porrúa, S.A. México. 1986. p. 131.

Además, es indispensable que ese objeto de la prueba pericial, deba ser examinado dentro del proceso y tenga las cualidades de ser concreto y determinado, pues es el juez, quien está facultado para ordenar de oficio la intervención de los peritos, y las partes, deberán señalar el hecho preciso sobre el que versará el dictamen que coadyuvará a la ilustración del juzgador.

Puede afirmarse que la prueba pericial es el resultado del avance de la técnica, ya que tiene por objeto dar testimonio científico y técnico sobre las personas, los objetos o cosas y los hechos, después de haberse cometido un delito o para resolver una controversia.

Por ende, el perito es una persona que debe tener un conocimiento especializado en alguna rama de la ciencia o del arte o alguna técnica que le permite emitir un dictamen de interés probatorio en relación a las personas, las cosas o los hechos que por su especialidad, se le planteen.

Precisado el concepto de perito, sólo nos resta agregar que sin su intervención en el proceso, supliendo el conocimiento limitado del juzgador, la captación de algunos hechos sería de realización imposible para éste.

El carácter de la pericia es el de formar en el ánimo del juzgador un dato inductivo de convencimiento por la confianza que le hayan inspirado las personas dotadas de aptitudes científicas, artísticas o técnicas, o dicho de otra manera, señalaremos que el fin de la opinión pericial es constituir para el

jugador un conducto en el descubrimiento de la verdad de un hecho, ya que debido a su incapacidad cognoscitiva en determinada materia, se encuentra imposibilitado para capturarlo por sí mismo.

En otras épocas no existían laboratorios tan especializados como ahora que la ciencia y la técnica han alcanzado metas insospechadas anteriormente, y en consecuencia el ilícito penal se comete también, utilizando los últimos descubrimientos de la técnica.

En nuestros días los violadores del orden jurídico llevan a cabo sus actos aprovechando la técnica, como ya lo comentamos, por lo cual es de concluir que si el delito se realiza así, también debe ser así el procedimiento de investigación.

Por tanto, la intervención de la pericial debe requerirse por el Ministerio Público al practicar la averiguación previa, dado su carácter de autoridad en esta etapa, se encuentra facultado para recibir y practicar las diligencias que le permitan reunir datos suficientes para hacer la consignación de los hechos que considere delictuosos, pudiendo de tal manera valerse del auxilio pericial para lograr una mayor eficacia en el desempeño de sus funciones.

2.- Naturaleza Jurídica.

Después de conocer la opinión de tradistas como Lessona, de Pina y Becerra Bautista, así como de Guillermo Colín Sánchez⁽²⁷⁾, nos adherimos a la opinión de este último autor quien asevera que "...el perito sí es un auxiliar de los órganos de la justicia, y aunque dentro de la relación procesal no es posible ubicarlo en el mismo plano de los sujetos autores de la trilogía de los actos esenciales del proceso (acusación, defensa y decisión), de todas maneras, es un sujeto secundario a quien se encomienda desentrañar aspectos técnico-científicos, materia del proceso...".

Agrega además un atinado comentario al respecto, que en el momento actual el progreso científico es de tan alta consideración que está próximo el día en que de la pericia dependa en gran parte la realización de los fines del proceso⁽²⁸⁾, lo cual es altamente deseable, ya que otro de los medios de prueba como es el testimonio, es poco digno de confianza debido a lo común que es el testigo falso y aún en el caso de verdadero, es fácil que se equivoque en sus apreciaciones.

3.- Requisitos para ser Peritos.

El Código Federal de Procedimientos Penales en su numeral 223 señala

(27) Op. cit. p. 404.

(28) Idem cfr. op. cit. p. 404.

que los peritos deberán tener título oficial en la ciencia o arte sobre el que van a dictaminar, por supuesto sólo en el caso de que esté debidamente reglamentado, ya que existen algunas áreas en que el perito es un práctico. El artículo 171 del Código de Procedimientos Penales para el Distrito Federal establece el mismo requisito.

Esta exigencia es muy justificada. Siendo el objeto de la pericia el de proporcionar al juzgador una ilustración que le aporte el conocimiento de hechos y sus consecuencias, que le permita dictar un fallo justo, el requisito de que el perito posea un título en su profesión, hace suponer que reúne las condiciones necesarias para desempeñar su cargo.

Además el artículo 173 del Código penal adjetivo en materia común homologa a los peritos con los testigos en la forma de ser citados, en cuanto a los requisitos y a los impedimentos, agregando que se preferirán a los que hablen español, aunque considero que lo correcto es que dijera que se preferiría a los mexicanos sobre los extranjeros.

Estos numerales antes citados, son los que han dado pie a la confusión que algunos autores tienen al considerar que los peritos y los testigos tienen la misma naturaleza y mi opinión es que deberían reglamentarse por separado, ya que el código en estos artículos no ha sufrido reformas ha pesar de que la prueba pericial si las ha sufrido, al volverse cada vez más especializada.

A este respecto, el artículo 191 que de acuerdo al propio ordenamiento, también le es aplicable a los peritos, dice .. "Toda persona, cualquiera que sea su edad, sexo condición social o antecedentes, deberá ser examinado como testigo, siempre que pueda para la averiguación del delito ..". lo que significa que no se señala la edad del perito.

4.- Valoración de la Prueba Pericial.

Para poder hablar del valor de la prueba pericial dentro del proceso en nuestro sistema, haremos antes una pequeña acotación en relación a los sistemas que han sido utilizados por las diversas legislaciones, para la valoración de la prueba.

Es de aceptación general por la doctrina, que esos sistemas que han determinado la posición del juzgador frente a la prueba que debe apreciar y valorar, son los siguientes:

- I.- El sistema de la prueba libre.
- II.- El sistema de la prueba legal o tasada.
- III.- El sistema mixto.

A pesar de tener diferentes nombres, ya que otros autores las llaman prueba legal, de libre apreciación y sana crítica, los tres sistemas arriba mencionados, están sujetos a los principios y disposiciones jurídicas que

regulan la prueba y el proceso y por ello es que al dictar sentencia el juzgador siempre deberá motivar su decisión, es decir, explicará cual fue su razonamiento.

El primero de ellos o sea, llamado de la **prueba libre**, tiene como característica esencial la de colocar al juzgador en posición de estimar las pruebas en absoluta libertad, es decir, que lo faculta para que las aprecie sin ningún obstáculo legal.

Por lo que hace a la denominación de sana crítica, me parece muy poco afortunada, ya que las pruebas se valoran, no se critican.

En tal virtud, en este sistema de prueba libre, la convicción del juez no se sujeta a un criterio legal previamente establecido sino que debe formarse por medio de una valoración de carácter particular que él haga de las pruebas y todo lo que se le exige es que no sea de forma arbitraria, ya que tendrá que explicarlo en su sentencia en forma razonada y lógica.

El segundo sistema o de la **prueba tasada o legal**. Diremos que como su nombre lo indica, la ley les da su valor específico y por tanto, es el polo opuesto de la prueba anterior.

La característica fundamental de este sistema consiste en que la determinación del valor de la prueba, no queda sujeta al criterio del juzgador,

sino de la ley, que de manera rígida estipula previamente su valor, que ha de corresponder a cada uno de los medios de prueba y el juzgador queda obligado forzosamente a ceñirse a este reglamento.

Este método ha sido duramente atacado por varios pensadores que no aceptan la relegación de criterios que se impone al juzgador ya que se le coloca en la situación de un simple observador del proceso. Así Castillo Larrañaga y de Pina Vara⁽²⁹⁾ al respecto asientan: El sistema de la prueba legal padece de un defecto fundamental que es el de consagrar una oposición antinatural entre el conocimiento humano y el jurídico. El sistema de la prueba legal o tasada se asienta sobre la desconfianza hacia el juez, al que convierte en un autómata, y es, por su inflexibilidad y dureza incompatible con una eficaz percepción de los hechos que juegan en el proceso, cuya apreciación en el caso concreto escapa a las previsiones legales de tipo general que suelen llevar a la fijación de una verdad puramente formal, sin enlace alguno con los elementos vitales que palpitan en toda contienda judicial.

En relación a este sistema que él llama tasado, Guillermo Colín Sánchez⁽³⁰⁾ opina: Un sistema probatorio contrario al libre, fatalmente conduce a la pronunciación de resoluciones injustas, por falta de conocimiento indispensable sobre la verdad histórica. Para llegar a este conocimiento, es

(29) Castillo Larrañaga, Manuel y Rafael de Pina. Instituciones de Derecho Procesal Civil, Ed. Porrúa, S.A. México. 1950. p. 239.

(30) Op. cit. p. 350

necesaria la iniciativa del juzgador, solicitando pruebas y llevando a cabo la práctica de todas aquellas a que vayan dando lugar las ya aportadas.

Como producto de la mezcla de los dos sistemas que hemos tratado, se ha obtenido una forma ecléctica que es el llamado **sistema mixto**, el cual consecuentemente, participa de los otros dos.

Aunque la realidad ha demostrado que tanto el sistema de prueba libre como el de prueba legal o tasada, no han sido implantados rigurosamente, el resultado de la combinación de esos métodos, nace como un remedio para combatir los inconvenientes de los dos primeros y para aprovechar sus ventajas.

Este último sistema es el que adoptan nuestros códigos procesales, ya que el federal en su artículo 285 establece que todas las pruebas, incluida por supuesto, la pericial, deben ser consideradas como meros indicios y que sólo da valor pleno a los documentos públicos y al resultado del cateo, como ya lo dejamos asentado en la página 9, en el primer capítulo de esta tesis.

En relación a la prueba pericial existen las siguientes jurisprudencias:

PRUEBA PERICIAL, NO ADMISION DE LA.- Implica una violación procesal aún cuando no se recurra el auto que declara cerrada la instrucción. El hecho que el quejoso no haya apelado del auto que declaró cerrada la instrucción, no debe interpretarse estimando que se consintió tácitamente la omisión del juzgador en admitir la prueba pericial que legal y oportunamente ofreció, puesto que la fracción XI del artículo 73 de la ley de amparo no tiene aplicación en el caso si se atiende a que la misma no puede volver negatoria la garantía expresamente consagrada en la fracción V del artículo 20 de nuestra Constitución Política y en consecuencia la negativa a admitir la prueba, implica la violación procesal que afecta las defensas del quejoso, establecida en la fracción VI del artículo 160 de la citada ley de amparo.- Amparo Directo 452/71.- Jesús José García Martínez. 19 de abril de 1971.- 5 votos.- Ponente Manuel Rivera Silva.

1a. Sala.- Séptima Epoca. Volumen 28. Segunda Parte . p. 35.

1a. Sala.- Informe 1971. p. 32.

PRUEBA PERICIAL, SE INTEGRA AUN CUANDO UNA DE LAS PARTES NO HAGA USO DE ESA FACULTAD EN EL CURSO DEL PROCESO.- En efecto el artículo 222 del Código Federal de procedimientos Penales consagra el derecho de las partes a designar peritos en la causa, pero eso no obliga que necesariamente hagan uso de esa facultad, ya que está en su potestad incluso prescindir de ese derecho según convenga a los intereses de las mismas: de donde la omisión voluntaria o involuntaria de tal facultad no invalida dicha prueba pericial, ni mucho menos puede que no llegue a integrarse la misma

como lo pretende el quejoso, puesto que la finalidad de tal prueba por su naturaleza sólo tiende a auxiliar al juzgador en puestos técnicos que requieran conocimientos especiales para el mejor conocimiento de la verdad procesal buscada.- Amparo Directo 1851/70.- Humberto Garza Treviño.- 30 de septiembre de 1970.- 5 votos.-Ponentes: Manuel Rivera Silva.- Secretario.- Jesús Gervacio Nava.

1a. Sala.- Séptima Época. Volumen 21. Segunda Parte. p. 22.

CAPITULO III

EL CÓDIGO GENETICO

1.- Los Elementos.

A.- El Átomo

B.- Las Moléculas

a.- Cadenas de Carbono.

b.- Carbono de Anillos.

2.- Moléculas Gigantes.

A.- Los Aminoácidos

B.- Las Proteínas.

3.- Localización del Código Genético.

A.- El Ácido Nucleico

4.- De Cadena a Hélice.

5.- La doble Hélice

A.- La Marca Individual Específica del ADN Humano.

a.- Qué es un Genoma

b.- Qué es el Código Genético.

B.- La combinación Purina Pirimidina.

a.- El Citoplasma.

6.- La forma en que se Confecciona la Clave o Código.

7.- Manera de Descifrar el Código.

1.- Los Elementos

El lenguaje de la química empieza por los elementos. Los elementos son las sustancias que no pueden descomponerse por métodos ordinarios, en sustancias más simple y varían en en número de átomos.

Actualmente se conocen 103 elementos y algunos de ellos solamente han sido producidos en laboratorios. Pero para los tejidos humanos, que son la base de esta investigación, solamente son esenciales seis de ellos: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo.

Todos estos elementos son muy comunes y se encuentran con facilidad, como el oxígeno y el nitrógeno, ya que se encuentran en el aire que respiramos.

A.- El Átomo.

Todas las sustancias están formadas por minúsculos átomos, que sin embargo, son extraordinariamente complejos.

Cada elemento se compone de uno o más átomos que son distintos de todos los demás elementos. Existen por lo tanto, hasta ahora 103 clases diferentes de átomos conocidos, una por cada elemento. normalmente los átomos no se encuentran aislados, por el contrario, se encuentran asociados

con uno o más átomos. Cuando esta asociación es de átomos de una misma clase, se forman elementos. Cuando se asocian uno o más átomos diferentes, el resultado es una molécula.

B.- Las Moléculas

Cualquier grupo de átomos, iguales o distintos, que forme una unión que no se disgregue espontáneamente, sino que se mantenga estable al menos el tiempo suficiente para ser estudiada, recibe el nombre de molécula.

Los átomos son las "Letras" del lenguaje químico y por tanto, las moléculas son las "Palabras" completas.

Las moléculas son fáciles de construir a partir de los átomos.

a.- Las Cadenas de Carbono.

Las moléculas de los tejidos vivos son más complicados debido a las propiedades del átomo de carbono que tiene la propiedad de unirse formando largas cadenas estables.

Las moléculas de carbono contiene ocho átomos dispuestos en cadenas ramificadas y dieciocho átomos de hidrógeno.

Lo que distingue a una molécula de otra no es simplemente la clase de átomos que la componen sino la disposición de los distintos átomos al formar la cadena. Por esto, al tratar de las complejas sustancias que componen los tejidos vivos, en el caso que nos ocupa, tejidos vivos humanos, tenemos que atenernos a las fórmulas estructurales.

A medida que las fórmulas estructurales se alargan y complican, resulta conveniente poder referirse a partes específicas de las moléculas. Volviendo a utilizar la analogía de las palabras, este proceso es como partir una palabra larga en sílabas para facilitar su pronunciación. Se compone de las moléculas básicas en estructura y nombre.

Para el estudio del código genético son suficientes ocho de las cadenas de carbono: grupo metilo, grupo hidroxilo, grupo aminas, grupo thiol, grupo carbonilo, grupo bisulfuro, grupo carboxilo y grupo amida. El grupo metilo no son propiamente cadenas, son grupos funcionales, que químicamente, son los que reaccionan.

b.- Carbono en Anillos.

Los átomos de carbono tienen tendencia a formar anillos. Estos anillos de carbono tienen tendencias a formar unas combinaciones extraordinariamente estables; en especial cuando están compuestos por cinco o seis átomos, y de modo particular cuando los enlaces dobles se alternan.

Hay anillos atómicos que no están formados únicamente por átomos de carbono, sino que pueden intervenir otros átomos, generalmente de nitrógeno u oxígeno.

A nosotros, para este estudio, nos bastan los siguientes siete anillos: anillo de benceno, anillo de furano, anillo de pirrol, anillo de imidasol, anillo de pirimidina, anillo de indol y anillo de purina.

2.- Las moléculas gigantes.

A partir del siglo XIX, cuando los químicos descubrieron la existencia del átomo, las primeras moléculas que estudiaron eran pequeñas, podríamos decir siguiendo con el símil, que eran palabras monosílabos. Pero imposible tratar las sustancias orgánicas sin tropezarse con moléculas realmente gigantes.

Afortunadamente, las moléculas gigantes debían su gran tamaño únicamente a la circunstancia de estar formadas por numerosas moléculas pequeñas y unidos entre sí como las cuentas de un rosario. Fue posible tratar las moléculas grandes liberando las pequeñas moléculas al dissociarlas de las unidades continuas. Esta operación suele realizarse calentando la molécula grande en una solución ácida.

Si bien la molécula grande, intacta, es difícil de estudiar, las unidades pequeñas, una vez disueltas, se manejan con facilidad. Los conocimientos

recogidos mediante el estudio de la estructura de las distintas piezas, permitieron deducir la estructura de la molécula gigante en su estado original.

Si consideramos las pequeñas moléculas como "Palabras" y la molécula grande como "una frase" la situación es parecida a la del que tiene que descifrar una inscripción en un idioma extranjero del que solamente posee nociones. Si tiene que leer una frase completa quizá no pueda captar su cabal significado, pero si va descifrando palabra por palabra con ayuda de un diccionario, tal vez llegue a enterarse.

La primera gran molécula, o macromolécula, estudiada por este sistema resultó sorprendentemente simple. Ya en 1814 se descubrió que el almidón, calentado en una solución ácida durante un tiempo suficiente, se descomponía en unidades de estructura idéntica. Esta estructura era glucosa, un tipo de azúcar cuya molécula tiene un tamaño que es la mitad del azúcar corriente, esta molécula solamente tiene 24 átomos. Sin embargo, cientos y hasta miles de estas unidades unidas entre sí forman una sola molécula de almidón, compuesta por cientos de miles de átomos.

La celulosa, que es la materia que endurece la madera, también se compone en glucosa, la misma glucosa que se encuentra en el almidón. Pero en la celulosa las unidades de glucosa están unidas de un modo distinto a como lo están las del almidón.

Ya el Siglo XX, los químicos descubrieron la forma de fabricar macromoléculas que no se dan en la naturaleza. Ideando métodos para unir muchas moléculas de una unidad determinada para producir caucho, fibras sintéticas y una gran variedad de plásticos.

Todas las macromoléculas, naturales y sintéticas, tenían en común su gran tamaño y su composición, formada por miles de unidades. Son grandes pero no complejas.

El tamaño tiene sus ventajas, la micromolécula de almidón es un excelente medio para almacenar la energía que contiene la molécula de glucosa con perfecta estabilidad hasta el momento de utilizarla. Entonces, las moléculas de almidón se pueden descomponer fácilmente y las unidades de glucosa, introducirse en el torrente sanguíneo.

No obstante las macromoléculas del orden del almidón y la celulosa no desempeñan una función auténticamente activa en el proceso de la vida. Son materiales pasivos que no actúan sino que reciben la acción de otros.

Con la proteína ocurre algo distinto. Esta es una macromolécula que, al igual que el almidón y la celulosa, posee gran tamaño y está formada también por pequeñas unidades como las cuentas de un collar. Ahora bien, las moléculas de proteínas presentan, además, cierta complejidad.

A.- Los Aminoácidos.

Hacia 1820, un químico francés de apellido Branconnot, calentó la gelatina de proteína en ácido y obtuvo cristales de un compuesto de sabor dulce. Este compuesto se llama glicina, que en griego significaba dulce.

Cuando se estudió la estructura de la molécula de glicina se vio que era simple. Estaba compuesta solamente de diez átomos, menos de la mitad de los que forman la glucosa.

Esta molécula consiste en un átomo de carbono central, enlazado con un grupo de aminas por un lado y con un grupo de ácido carboxílico por otro. Los dos enlaces restantes están ocupados por átomos de hidrógeno. Naturalmente, un compuesto que contiene un grupo de aminas y un grupo de ácido carboxílico, puede considerarse un aminoácido y lo es. La glicina es un ejemplo de aminoácido simple.

Los aminoácidos son las piezas de construcción que componen las moléculas de proteína.

El número de diferentes aminoácidos hallados en los tejidos vivos es bastante grande. Algunos de ellos no se encuentran en las moléculas de proteína sino que se dan en otros alimentos. Otros se encuentran en las moléculas de proteína, pero solamente en uno o dos casos extraordinarios.

Si nos limitamos a los aminoácidos que se encuentran en todas o casi todas las moléculas de proteína, su número no es muy grande, son 21. Y uno más que se encuentra en una sola molécula de proteínas, pero que es muy importante.

Una de las características que distinguen a la molécula de proteína en la de que ninguna otra macromolécula natural o sintética está formada por tantas unidades diferentes, ni siquiera por la cuarta parte.

Para demostrar la importancia de esta característica, volvamos al ejemplo de la tira de cuentas. Esta sería que en lugar de ser todas las cuentas del mismo color, estas serían de diferente tamaño y color. Esto ocurre con la molécula de proteína.

Cada uno de los 21 aminoácidos de que ya hemos hablado, además de la glicina, sería:

Primero, hay cuatro aminoácidos cuya cadena secundaria es un grupo hidrocarburo. Uno es leucina y los otros tres son: alanina, valina e isoleucina.

Dos aminoácidos tienen grupos hidroxilos en las cadenas secundarias y son: serina y treonina.

Dos aminoácidos contienen grupos de ácido carboxílico en cadena secundaria. Son el ácido aspártico y el ácido glutámico. Otros dos aminoácidos, muy parecidos a los anteriores tanto por el nombre como por la estructura, tienen un grupo amida en lugar del grupo carboxil y son la asparagina y la glutamina.

Dos aminoácidos contienen grupos amina en la cadena secundaria. Uno es la lisina y el otro es la arginina. La combinación de tres átomos de nitrógeno unidos a un átomo de carbono central que se da en la cadena secundaria de la arginina, se llama grupo guanido. Este grupo es muy importante para el punto al cual queremos llegar en esta investigación.

Tres aminoácidos contienen átomos de azufre en la cadena secundaria. Uno es la metionina, que tiene un sólo átomo de sulfuro entre dos átomos de carbono (combinación que en ocasiones recibe el nombre de tioéter). Otro, cisteína, posee un grupo del tiol, mientras que un tercero, la cistina, posee un grupo de bisulfuro.

Con esto, ya está lista la cantidad de palabras para poder construir todas las frases necesarias. Ya tenemos los veintidós aminoácidos, las que componen la molécula de proteína.

El químico alemán Emil Fisher en la primera década de este siglo XX, demostró que dos ácidos se combinan al unirse al grupo de ácido carboxílico de uno con el otro amino y que, en el proceso, se pierde una molécula de agua.

El grupo hidroxilo que forma parte del grupo de ácido carboxílico se combina con uno de los átomos de hidrógeno del grupo amino. El grupo hidroxilo y el átomo de hidrógeno juntos forman una molécula de agua, H_2O , que se elimina. Con la eliminación del grupo hidroxilo y del átomo de hidrógeno, a cada molécula de glicina le queda un enlace libre y estos se unen para formar la glicilglicina.

Estas combinaciones de aminoácidos se llaman péptidos, nombre derivado de la palabra griega que significa "digerir", por haber sido obtenidos por primera vez de proteínas semidigeridas. La combinación de átomos que forma la unión entre los aminoácidos se llama conexión péptida.

La molécula de proteína consiste sólo en una cadena de polipéptidos.

B.- Las Proteínas

Estas proteínas son las macromoléculas más complejas. El biólogo Max Perutz dedicó 25 años de su carrera al análisis de una sola de ellas: la hemoglobina, que es la proteína que transporta el oxígeno en la sangre.

Sin embargo, las proteínas también son sencillas, pues son macromoléculas que consisten en largas cadenas de subunidades más pequeñas. En realidad, la hemoglobina consiste en dos pares de tales cadenas, dispuestas en forma simétrica.

Las subunidades de las moléculas de proteína son aminoácidos.

Los aminoácidos son: la GLICINA, LA LEUCINA, la FENILANINA, el TRIPTOFANO y la ASPARAGINA.

En términos generales, son unos veinte los aminoácidos estándares que componen las proteínas.

Dos de ellos unidos, forman un péptido y si se les añaden más, se forma una cadena proteínica o polipéptido.

Cada proteína tiene un número y una secuencia precisa de aminoácidos. Las atracciones mutuas entre estos componentes hacen que la cadena se enrolle en una forma compacta, pero flexible.

La mayor parte de las proteínas son enzimas. Las enzimas son proteínas que separan o unen otras moléculas a cada enzima le corresponde solamente una reacción específica.

3.- Localización del código genético.

Para que puede fabricar enzimas formando una cadena polipéptida determinada y solamente esa, partiendo de unas posibilidades prácticamente ilimitadas, esa célula ha de tener, en algún lugar, "Instrucciones" para ello. Es inconcebible que una cadena como esa pueda formarse por casualidad.

La célula construye comparando así que toma como modelo cada una de las moléculas de proteína. La segunda molécula de proteína habría de fabricarse sobre la primera, aminoácido por aminoácido.

Esto significa que el juego de cromosomas con el que cada huevo fecundado inicia la vida contiene información para un juego de enzimas, cuyo número es prácticamente igual al de los distintos genes. A este patrón de los cromosomas se le ha dado el nombre de CODIGO GENETICO.

A.- El ácido nucleico.

El ácido nucleico contiene un nueve por ciento de fósforo, más que cualquiera otra proteína. El fósforo, por sus propiedades químicas se parece un poco al nitrógeno. Pues puede combinarse con tres ácidos diferentes.

En los tejidos vivos, el átomo de fosfato siempre está integrado en un fosfato primario o secundario. Para simplificar, se puede adoptar una forma

convencional para indicar estos dos grupos, sin tener en cuenta su configuración atómica interna, se puede indicar al grupo fosfático por una "P" rodeada de un círculo.

Estos grupos fosfáticos son componentes del ácido nucleico, es el que le da sus propiedades ácidas. Contiene además en su estructura grupos de azúcar.

El azúcar simple más corriente que se da en la naturaleza es la glucosa, unidad a base de la cual se fabrican el almidón y la celulosa. La molécula de glucosa es una cadena de seis átomos de carbono. A cinco de ellos está unido un hidroxilo, mientras que el sexto átomo de carbono forma parte de un grupo carbonilo.

Hay dos azúcares más muy conocidos llamados fructosa y galactosa.

Dos azúcares simples pueden combinarse entre sí y formar moléculas como la sacarosa y la lactosa. Y la glucosa pueden combinarse para formar molécula de almidón o celulosa.

Existen otros muchos azúcares y combinaciones de azúcares, algunas de estas moléculas están ligeramente modificadas: son aquellos a los que se han agregado grupos de nitrógeno, azufre o fósforo.

Todos estos compuestos, simples, combinados, modificados, naturales o sintéticos se llaman hidratos de carbono o carbohidratos y componen uno de los tres grandes grupos de materia orgánica de los tejidos.

El ácido nucleico es lo que al carbohidrato componente básico de la materia orgánica de los tejidos. En el año de 1910 un bioquímico norteamericano de origen ruso Phoebus A.T. Levene identificó la RIBOSA, uno de los componentes del ácido nucleico, que es uno de los carbohidratos más importantes para la vida, descubrió además que no todas las moléculas de ácido nucleico contiene ribosa. Algunos contienen un azúcar a fin de que se diferencie sólo por la carencia de uno de los átomos de oxígeno de la ribosa. De ahí le viene el nombre de DESOXIRRIBOSA.

En función de estos dos azúcares, el ácido nucleico se divide en dos tipos: ACIDO RIBONUCLEICO y ACIDO DESOXIRRIBONUCLEICO, que contiene desoxirribosa.

Estos ácidos nucleicos contienen además de grupos fosfáticos y azúcares, combinaciones de átomos construidos en torno a anillos con parte de nitrógeno. Todos los compuestos con parte de nitrógeno que fueron aislados resultaron estar construidos alrededor de uno o dos sistemas de anillos: el de purina y el de pirimidina.

Dos purinas y tres pirimidinas se han aislado de los ácidos nucleicos en cantidades considerables. Las dos purinas son: adenina y guanina y las tres pirimidinas: citosa, timina y uracilo.

De las cinco, la adenina, la guanina y la citosa se dan tanto en el ADN como en el ARN. La timina se encuentra sólo en el ADN y el uracilo, sólo en el ARN. La timina y el uracilo no son muy diferentes, su única diferencia consiste en que la timina posee un grupo metilo del que carece el uracilo. En el código genético la timina del ADN es equivalente al uracilo del ARN.

Con todos estos compuestos que ya hemos descrito, la lista está completa pues los componentes de los ácidos nucleicos con el grupo fosfático, la ribosa, la desoxirribosa, las dos purinas y las tres pirimidinas, son en total ocho "Palabras", frente a las 22 que componen las proteínas.

De estas ocho palabras, el ADN sólo tiene seis pues carece de la ribosa y el uracilo y por su parte, el ARN carece de desoxirribosa y la timina.

Cada ribosa o desoxirribosa de la molécula del ácido nucleico tiene un grupo fosfático enganchado en un extremo y una purina o pirimidina en el otro. Esta combinación de grupos se llama nucleótido.

Todos los nucleótidos del ARN contienen un grupo de ribosa y además, una adenina, una guanina, una citosina y un uracil. Por lo tanto existen cuatro

nucleótidos distintos: ácido adenílico, ácido guanílico, ácido citidílico y ácido uridílico.

La presencia del grupo fosfático les da cada uno de ellos sus propiedades ácidas y por el nombre del nucleótido se sabe que purina o que piridimina contiene.

Los nucleótidos del ADN se distingue de los anteriores en que, en lugar de ribosa, contienen desoxirribosa. Por ello podemos hablar del ácido desoxiadenílico, ácido desoxiguanílico, ácido desoxicitidílico.

En el ADN no existe el ácido desoxiuridílico, pero sí el ácido desoxitimidílico. Los nucleótidos pueden enlazarse mediante los fosfatos secundarios que sirven de enlaces y ya unidos forman una cadena polinucleótida.

El ARN está compuesto por una cadena polinucleótida de cuya parte de azúcar sobresalen grupos hidroxilos mientras que el ADN está formado por una cadena polinucleótida sin grupos hidroxilos.

La cadena polinucleótida tiene cierta similitud con la cadena polipeptida está formada por una columna vertebral de poliglicina que discurre a lo largo de toda la cadena, dándole unidad; de ella parten las diferentes cadenas secundarias que dan diversidad a la molécula.

Igualmente, la estructura polinucleótida tiene una columna vertebral de azúcar y fosfato que discurre a todo lo largo de la cadena y de la que forman parte las diferentes purinas y pirimidinas.

En las moléculas de proteína sólo varían las cadenas secundarias y en la molécula de ácido nucleico, sólo las purinas y las pirimidinas.

En la columna vertebral de poliglicina puede haber hasta veintidós cadenas secundarias diferentes (contando como uno de los elementos la falta de una cadena secundaria para glicina); pero en la columna vertebral de azúcar y fosfato sólo hay cuatro purinas o pirimidinas diferentes.

4.- De cadena a hélice.

El gen es la porción de la molécula de ADN que comprende la unidad de funciones básicas hereditarias.

Un gen puede consistir en una molécula de ácido nucleico formado por una cadena de 200 a 2,000 nucleótidos.

Una cadena polipeptídica compuesta por 20 aminoácidos diferentes puede combinarse de unas 2,400,000,000,000 (dos trillones cuatrocientos mil billones) de formas, mientras que una cadena polinucleótida compuesta por 20 nucleótidos puede combinarse con poco más de 1,100,000,000 de variaciones.

Esto quiere decir que la cadena polipéptida tiene la facultad de formar más de dos mil millones de combinaciones más que una cadena polinucleótida compuesta por un número de unidades similar.

La molécula de ácido nucleico media contiene no ya dos veces sino hasta cinco veces más unidades que la molécula de proteína, media por lo que, en resumen, la molécula de ácido nucleico tiene más posibilidades de formar disposiciones diferentes.

5.- La doble hélice.

La cadena ADN, con su típica estructura de escalera helicoidal, incluye todas las instrucciones necesarias para la construcción de un nuevo individuo.

El código para la síntesis de cada una de las sustancias viene organizado por segmentos. Los genes dispuestos uno tras otro a lo largo de la gigantesca molécula.

A su vez, cada gen está compuesto por la sucesión de grupos formados por la combinación, de tres en tres, de cuatro en cuatro moléculas básicas: GUANINA, ADENINA, CIOTOSA Y TIMINA, que se representan por una doble hélice.

Anteriormente ya se dio la lista completa de los componentes de los ácidos nucleicos con el grupo fosfático, la RIBOSA, la DESOXIRIBOSA, las dos PURINAS y las tres PIRIMIDINAS. En total ocho componentes que son los necesarios para contener el código genético.

Los químicos James D. Watson y Francis H. Crick, trabajando conjuntamente, consiguieron armar todo este rompecabezas y diseñaron el modelo de la doble hélice que contiene el código genético de los seres vivos.

A partir de esto se supo la gran importancia que tiene el ADN cuya concentración en las células que forman un organismo vivo, parece determinante.

Cada célula, esté o no creciendo tiene la misma cantidad de ADN, esto es debido a que cada célula tiene igual equipo de cromosomas y en ellos el ADN.

A.- La Marca Individual Específica del ADN Humano.

a.- Qué es un Genoma.

Genoma es el conjunto del material hereditario que todo ser vivo posee, y que transmite a sus descendientes.

Se sabe que está constituido por dos filamentos de más de un metro de largo cada uno, químicamente conocido como ácido desoxirribonucleico o ADN, que el ser viviente ha recibido de cada uno de sus padres.

Estos filamentos que habitualmente se encuentran enrollados en forma helicoidal en cada una de las células del organismo, se fraccionan cuando la célula se divide, en pequeños bastones o cromosomas, de los cuales la especie humana cuenta con 23 pares.

Estos filamentos están formados por los llamados nucleótidos, a su vez constituidos por las denominadas bases, de las cuales hay más de tres billones de pares de bases en el ADN humano, donde se encuentran encadenadas en un orden preciso. Esa distribución, justamente, parece ser la clave de las características del organismo, el "Código Genético" que se transmite a las generaciones posteriores.

Se ha calculado que el mencionado código genético está a su vez, formando por "Frasas" que pueden incluir hasta más de cien mil bases; las que constituyen en definitiva los genes.

En vista de la relación entre los genes y las proteínas, ello hace pensar que la secuencia del ADN de alguna manera es paralela a la secuencia de la proteína, o reflejo de esta última.

La secuencia de los pares de bases ha de considerarse como una serie de "Palabras" que especifican el orden de los aminoácidos en cada proteína.

A fin de traducir las "Palabras" del ADN en aminoácidos, entra en funciones una "Molécula mensajera" copiada del ADN una familia de moléculas traductoras que pasan el "Mensaje" a los aminoácidos. Un corpúsculo que mantiene las cosas en su sitio y ayuda a formar el enlace entre dos aminoácidos. Estos tres agentes están formados, en parte o complementariamente, por el otro ácido nucleico: El ARN (ácido ribonucleico) se asemeja al ADN ya que contiene una columna vertebral de azúcares y fofatos, a la cual se unen una serie de bases.

El ácido desoxirribonucleico o ADN fue descubierto en 1860 por el químico suizo Johann Friedrick Miescher investigando la composición del núcleo de la célula, que para sorpresa general, no era un proteínico y contenía fósforo. El ADN se llamó primeramente nucleina, hasta que años más tarde se confirmó su carácter ácido para darle el nombre moderno y descubrir también sus componentes nitrogenados.

b.- Qué es el código genético

Qué es el código genético? De acuerdo al símil que hemos usado durante todo el capítulo: es el conjunto de letras y palabras que forman las secuencias de instrucciones o unidades de información (genes), para la

producción de todas las sustancias del organismo. Para cada sustancia existe por lo menos un GEN y éste, el gen-palabra, está compuesto por una sucesión de letras que pueden oscilar entre varios miles y varios millones. A su vez, cada letra se forma con tres signos.

Esta descripción de lo que es la clave genética está muy simplificada, la razón obvia es que está escrita para ser accesible a cualquier lego en la materia.

B.- La combinación purina/pirimidina.

Los dos filamentos helicoidales de la molécula de ácido nucleico están unidos por enlaces de hidrógeno entre purinas y piridiminas en los puntos en los que estos últimos llegan al centro de la hélice.

Pueden darse tres disposiciones: una purina puede estar enlazada por hidrógeno a otra purina; una pirimidina puede estar enlazada por los denominados puentes de hidrógeno a una pirimidina.

Debido a que la purina se compone de dos anillos y la pirimidina de uno, la combinación purina-purina forma un largo tramo de cuatro anillos entre filamento y filamento; una combinación pirimidina-pirimidina formará un tramo corto de dos anillos y una combinación purina-pirimidina, un tramo mediano de tres anillos.

El modelo de hélice sobre desarrollado por Watson y Crick para la representación del ácido nucleico allanó el terreno para nuevos avances debido a su forma tan sencilla de comprender.

Ellos mismos propusieron la idea de que en la división celular, las distintas moléculas de ácido nucleico que forman los genes y cromosomas se reproducen por su proceso en el que cada filamento sirve de modelo para el otro.

En resumen: una molécula de ADN compuesta por el filamento doble normal pero sólo cuatro nucleótidos en cada filamento.

El filamento A consiste en nucleótidos que tienen por este orden: una adenina, una citosina, una adenina y una guanina: ACAG. El filamento B, naturalmente consistirá por que contengan, por este orden: una timina, una guanina, una timina y una citosa: TGTC.

Ahora se separan. El filamento A hace de modelo. Utiliza nucleótidos libres que la célula puede fabricar fácilmente y que, por lo tanto, se hallan disponibles en todo momento en cantidad y variedad.

El primer nucleótido del filamento A contiene una adenina que automáticamente formará un enlace de hidrógeno con una molécula de ácido tímido.

Este acto no persigue un fin. Las moléculas chocan con la adenina por el movimiento natural que agita constantemente a todas las moléculas de las células. Con algunas de ellas la adenina puede formar enlaces de hidrógeno.

El más firme de estos enlaces se produce cuando una timina choca en debida forma. La timina sustituirá a cualquier molécula ya enganchada y no será sustituida por otras. Después de un tiempo, muy corto para la apreciación humana (una milésima de segundo o menos), pero lo bastante largo como para que puedan producirse millones de colisiones, el extremo de timina del ácido timidílico queda firmemente sujeto en su lugar.

De igual modo, el segundo nucleótido del filamento que contiene una citosa, se unirá a un ácido guanílico.

El resumen: el ACAG del filamento aislado A formará un filamento TGTC a su lado. Mientras, el filamento aislado B formará doble original, habrá ahora dos filamentos dobles idénticos.

La concentración de ADN en las distintas células de un organismo determinado parece constante. Cada célula esté o no segregando material, tiene la misma cantidad de ADN.

Cada célula tiene igual equipo de cromosomas y en ellos está el ADN. La única excepción son las células ováricas y espermáticas. Estas tienen sólo

un cromosoma de cada par, es decir, la mitad del equipo; esto es muy lógico, ya que de su unión tendría que nacer un ser humano con un equipo completo cuya mitad es del padre y la otra de la madre.

Por el contrario, la concentración del ARN en las distintas células de un organismo determinado varía considerablemente. La concentración de ARN es más fuerte es donde el índice de la síntesis de proteínas es mayor.

Las células en desarrollo son más ricas en ARN que las células en reposo; debido a que una célula en desarrollo tiene que duplicar su contenido de proteínas desde el momento de su formación hasta el de su división. Cuando una parte de un tejido está creciendo y otra no, la concentración de ARN es mayor en la parte que crece.

El ARN recoge el código genético del ADN de los cromosomas y lleva el mensaje al citoplasma, donde se supervisa la formación de proteína.

a.- El Citoplasma.

El citoplasma que es el lugar en donde el ARN sintetiza la proteína, es un complejo sistema que contiene miles y miles de pequeños cuerpos de distintos tamaños, formas y funciones.

Los más conocidos de estos pequeños cuerpos o partículas se llaman mitocondrias que tienen forma alargada, su diámetro oscila entre medio y una micra y su longitud puede ser de hasta siete micras, es decir, siete millonésimas de un metro. En el citoplasma de una célula media puede haber hasta 2,000 mitocondrias regularmente distribuidas.

Los microsomas que contienen proteínas y ciertas sustancias grasas ricas en fósforo llamadas fosfolípidos.

Los ribosomas que contienen casi el 90 por ciento del ARN de algunas células.

Los ribosomas son el terreno en el que se fabrica la proteína pero el elemento que realiza esta fabricación es una variedad del ARN que se llama ARN Mensajero también se le llama ARN plantilla, ya que la plantilla es el modelo o patrón que se utiliza para la producción de una determinada forma.

6.- La forma en que se confecciona la clave.

El ADN de un gen determinado fabrica una molécula de ARN mensajero mediante reproducción Watson-Crick. El ARN mensajero posee un completo orden de los nucleótidos del ADN (con la diferencia de que hay uracilo en todos los lugares en los que el ADN tiene timina).

El ARN mensajero está compuesto quizá hasta por 1,500 nucleótidos, porta así el código genético del gen que lo ha creado.

La molécula de ADN mensajero penetra en el citoplasma y se engancha a un ribosoma libre. El "Formulario en blanco" del ARN ribosomal, relleno ahora con el mensaje del ARN mensajero, ya está preparado para reproducir una proteína específica.

Después de haberse formado unas cuantas moléculas de proteínas, el ARN mensajero se descompone dejando al ribosoma una vez más en blanco, preparado para configurar la clave de otra proteína que puede ser igual a la anterior o diferente.

Todo este proceso dura de dos a tres minutos en los cuales se colocan con precisión los cientos de nucleótidos que forman el ARN mensajero.

7.- Manera de descifrar el código.

Como anteriormente habíamos asentado, la molécula de ácido nucleico es una "Frase" compuesta por solamente cuatro "Palabras" diferentes, que son los nucleótidos.

La molécula de proteína es otra "Frase" compuesta por veintidós "Palabras", que son los aminoácidos.

Por lo tanto, al pasar los nucleótidos a los aminoácidos debemos descartar la noción de que la relación se establezca entre unidades y tomar los nucleótidos en grupos.

En el ARN mensajero igual que en el ADN del gen, hay solamente cuatro nucleótidos diferentes; pero existen $4 \times 4 = 16$ combinaciones dinucleótidas, es decir, que forman "Parejas" y $4 \times 4 \times 4 = 64$ combinaciones trinucleótidas es decir formadas en "Tríos".. tal y como se indican en la siguiente página, en la que los cuatro nucleótidos se representan por su inicial:

- Acido Uridílico U
- Acido Citidílico C
- Acido Adenílico A
- Acido Guanílico G

El código genético consiste en combinaciones trinucleótidas o "Tríos" que discurren a todo lo largo de la cadena polinucleótida cada uno de los cuales representa un aminoácido específico.

El código genético no tiene elementos superpuestos.

El código genético es degenerado. Debido a que en él dos o más combinaciones de símbolos corresponden a una misma cosa.

El Código genético es universal, lo que quiere decir que rige para todos los organismos desde el más pequeño virus hasta el más grande pino sequoia.

Los aminoácidos se alinean en tríos debido a que las numerosas variedades de ARN se adhiere a un aminácido activado determinado. Esto quiere decir que un trío determinado se enganchará con otro trío determinado.

Los aminoácidos que se forman con estas combinaciones, son descritos en la siguiente tabla.

El resumen, podemos decir que los científicos conocen ahora los mecanismos de la herencia. Saben que los genes, codificados en una molécula gigante de ácido desoxirribonucleico, portan la información que determina que de un óvulo fecundado surja un gusano, una rosa o un hombre.

La luz arrojada por los biólogos sobre este tema ha significado una gran revolución en las últimas décadas.

Para comprender la trascendencia de los nuevos conocimientos, es conveniente recordar las hipótesis que se barajan antes.

En primer lugar, se pensaba que los factores hereditarios eran en principio, permanentemente. Tan sólo las mutaciones ocasionadas por causas

externas, tales como radiaciones, productos químicos y virus, podrían alterar la información genética. Ahora se sabe que puede provenir de causas internas.

En segundo lugar, la teoría mecanicista definida por un influyente círculo de genetistas, sostenía que la vida y la reproducción servían sólo para perpetuar al infinito, la información genética de cada especie. Hoy está claro que los genes no son tan estables como se creía.

Se sabe que mediante la recombinación natural o artificial, de bloques enteros de material genético, es posible introducir nuevas informaciones en el mismo portador de la herencia y hasta transferirlas a otros cromosomas, incluso de otras especies.

El monje agustino Gregor Mendel quien a mediados del siglo pasado estableció las bases del mecanismo de la herencia, experimentando en el jardín con plantas de chícharos.

Las famosas Leyes de Mendel que él tardó años en descifrar y que son aplicables a todos los seres vivos.

El secreto de esto está en la clave genética, que como ya dijimos es el conjunto de letras y palabras que forman la secuencia de instrucciones o unidades de información, llamados genes, que sirven para la producción de todas las sustancias del organismo.

Los genes están localizados en ciertas posiciones, que llaman loci, estas posiciones dentro del cromosoma y las formas variables llamados alelos, contienen a muchos de ellos y estos son los que hacen diferentes a las secuencias de nucleótidos de ADN.

Para cada sustancia existe por lo menos un gen y este gen-palabra está compuesto por una sucesión de letras que puede oscilar entre varios y cientos y varios miles.

A su vez cada letra se forma con tres signos.

La unidad de información básica de la herencia, por lo tanto, es el gen, término acuñado por el danés Wilhelm Johansen en 1990.

Después, como ya ha quedado asentado, los investigadores James Watson, un estadounidense, y Francis Crick, un inglés describieron por primera vez la estructura molecular de la cadena ADN.

Fueron ellos quienes descubrieron la famosa doble hélice de la macromolécula ADN. También averiguaron que los escalones de la escalera helicoidal están formados por tan sólo cuatro subunidades moleculares, que ya hemos dicho anteriormente, son cuatro bases llamadas adenina, citocina, guanina y timina.

En el mes de abril de 1953 en la revista Nature, en un artículo titulado Una estructura para el Ácido Desoxirribonucleico en el cual dieron a conocer al mundo científico el modelo del ADN, por cuyo trabajo recibieron el Premio Nobel.

Ahora se sabe que existen 64 palabras genéticas, construídas por una diferente combinación de tres de las cuatro bases nitrogenadas.

Por último, debemos mencionar que el término de ADN recombinante fue acuñado por Janet Mertz y Ronald Davis para referirse al fenómeno de cortar, separar y unir sitios específicos de la cadena de ADN mediante enzimas, que a su vez se llamen endonucleasas de restricción y ligasas, como se verá en el siguiente capítulo de este trabajo.

En 1964 se consiguió descifrar plenamente este código de tripletes. Los cuatro elementos, que son las cuatro bases, tomados de tres en tres, que son los tripletes, son $4 \times 3 = 64$, es decir, que existen 64 combinaciones posibles, pero sólo existen 20 aminoácidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Asimov, Isacc. "El Código Genético". Título original: "The Genetic Code". Traducción: Ana Ma. de la Fuente. Primer ed. Julio, 1987. Editorial Plaza & Janes, S. A.
- Bernardo D. Davis M. D., Renato Dulbecco M. D. D., Herman N. Eisen, Harold S. Ginsberg, W. Barry Wood Jr. "Tratado de Microbiología". Ed. Salvat S.A. 1978. Barcelona.
- Toporek, Milton Dr. "Bioquímica". Traducción: Dr. Roberto Folch Fabre. Ed. Interamericana. México, 1972.

CAPITULO IV

LA APLICACION DE LOS ANALISIS DE ADN.

1.- El análisis de los genomas de ADN.

A.- La Tecnología.

a.- Su Inventor.

B.- Los Métodos Usados

a.- Método usado por Cellmark Diagnostics.

b.- Método usado por Lifecodes Corporation.

c.- Método usado por Cetus Corporation.

2.- La forma de obtener y preservar la evidencia.

A.- Forma de transferir la evidencia biológica.

a.- Depósito directo.

b.- Transferencia secundaria.

B.- Forma de Recabar la evidencia.

C.- Forma de Documentar la evidencia.

a.- La evidencia en la escena del crimen.

b.- La evidencia en el laboratorio forense.

D.- Forma de empacar la evidencia.

a.- Sangre y manchas de sangre.

a).- Sangre líquida.

b).- Líquidos.

b.- Manchas de sangre fresca.

a).- Prendas de vestir con manchas de sangre.

b).- Objetos con manchas de sangre fresca.

c.- Manchas de sangre seca.

a).- Manchas de sangre seca en objetos.

b).- Manchas de sangre seca sobre sólidos.

c).- Manchas de sangre en objetos grandes e inamovibles.

d).- Manchas secas de sangre sobre objetos que pueden ser cortados.

E.- Semen y manchas de semen.

a).- Semen y manchas de semen líquido encontrado en la escena del crimen.

b).- Manchas de semen sobre objetos muebles.

c).- Manchas de semen sobre superficies grandes que pueden ser cortados.

d).- Manchas de semen que no absorben y que son inamovibles.

e).- El semen como evidencia en asaltos sexuales

f.- Piel, órganos y huesos.

a).- Piel, órganos y huesos frescos.

b).- Piel, órganos y huesos viejos.

g.- Orina, saliva y otros fluidos del cuerpo.

a).- Manchas.

h.- Cabellos.

F.- Procedimientos iniciales de los laboratorios.

G.- Procedimientos para enviar muestras.

H.- Forma de preservar el envío.

I.- Procedimiento de cadena de custodia.

J.- Reporte del resultado de la prueba.

3.- Las pruebas de ADN en el Derecho Civil

A.- En casos de paternidad disputada.

a.- Materiales y métodos usados.

b.- Metodología ADN.

c.- Interpretación de la autorradiografía

d.- Resultados

e.- Pruebas de antisuero.

f.- Los análisis de ADN.

g.- Resultados

h.- Conclusión.

B.- Identificación de hijos póstumos.

C.- El ADN y las pruebas de paternidad en las cortes norteamericanas.

4.- Las pruebas de ADN en el Derecho Penal.

A.- En casos de identificación de cadáveres en descomposición.

a.- Métodos y materiales usados.

b.- Resultados.

c.- Conclusión.

B.- En casos de violación incluida la tumultuaria.

C.- En casos de homicidio.

5.- La Posible Creación de un Banco de Datos de Huellas Genéticas en E.U.A.

6.- Glosario.

7.- Apéndice.

El desarrollo de una nueva técnica conocida como huella de ADN, tiene un enorme potencial para uso en la ciencia médica y en la investigación forense.

Existen técnicas de investigación tales como análisis de grupo de sangre o pruebas inmunológicas, que tienen ambas cualidades, pero cantidad de inconvenientes en comparación con el ADN.

Un padre putativo en un caso de paternidad, por ejemplo, puede ser excluido con base en aquella prueba, pero no podrá asegurarse positivamente, que sí lo es, salvo en casos muy excepcionales.

Las técnicas inmunológicas tienen muchas aplicaciones en la ciencia forense, incluyendo la identificación de los componentes de la sangre y el origen específico de los tejidos, pero la precisión de estos métodos depende de las propiedades de la muestra, tales como edad pureza y la cantidad disponible para análisis.

La fuerza de la técnica de ADN descansa en las propiedades intrínsecas del ácido desoxirribonucleico, el material del cual están hechos los cromosomas. Para el análisis solamente se requieren cantidades muy pequeñas.

Bajo circunstancias correctas el ADN es marcadamente estable e inclusive, ha sido extraído de momias egipcias.

Las células humanas constan de 46 cromosomas. El 50% contiene la información genética de la madre y el otro 50%, la del padre.

En relación a la cantidad de información que se almacena en ellos, podríamos compararlo con los surcos que se hacen en un disco, las palabras que se imprimen en un libro o las imágenes grabadas en una película de fotografía. En todos estos casos, la información está almacenada en un medio y inerte en el caso del ADN, la información se encuentra contenida dentro de su propia química.

Cuatro bloques de construcción conocidos como bases, son la estructura del ADN, y de acuerdo al orden en el cual estas bases se suceden, proveen la información requerida para ensamblar y regularizar la construcción del cuerpo.

Las bases son conocidas por su letra inicial: A, C, G y T, y la estructura del ADN en sí misma, puede ser comparada con un cierre de cremallera, en el cual casan siempre y únicamente, una letra específica con otra específica.

Esto significa que la Adenina casa con la Timina y la otra pareja la forman la Guanina con la Citosa. A-T y G-C.

Las otras dos propiedades de ADN son importantes para entender la huella del ADN.

La primera es que el número de bases en el cromosoma es enorme. Se conoce la razón de ser sólo de alrededor del 45%, que son requeridas para la operación normal de una célula.

El propósito de las restantes 55% no ha sido aún entendido.

Estas unidades funcionales están diseminadas a través del cromosoma, mejor dicho, como páginas de un manual.

Entre estas páginas de texto, hay páginas interseparadas en un lenguaje desconocido, no podemos entenderlos, pero pueden tener una gran significación.

Si nosotros representamos un cromosoma en la forma mostrada en el ejemplo que está líneas abajo, podríamos requerir 1.3×10^8 caracteres para denotar el entero del cromosoma, esto significa que poniendo 5 caracteres por centímetro, necesitaríamos una tira de papel de 261 kilómetros de largo para escribir la secuencia entera de la base.

A intervalos, desde el principio hasta el fin, en el tramo de bases escogidas al azar, ocurren ciertas combinaciones por lo regular de 6, conocidas como sitios de restricción:

-AAGCTT-
-TTCGAA-

Ejemplo de una secuencia palindrómica de ADN reconocida por restricciones enzimática (existen muchas secuencias dentro del cromosoma).

La colocación es palindrómica, el orden de las bases en la línea de abajo es exactamente al revés que la línea de arriba.

Tales colocaciones suceden a través del ADN de los cromosomas y las características del ADN son heredadas de los padres.

El sistema natural de defensa conocido como restricción enzimática, sucede en forma natural en ciertas bacterias.

Estas enzimas son capaces de un reconocimiento específico de la secuencia palindrómica y de romper el ADN en este punto.

1.- El análisis de los genomas de ADN.

Varios minisatélites altamente polimórficos pueden ser detectados simultáneamente en el genoma humano por hibridización en sondas consistentes en repeticiones de la secuencia.

El Resultado de la huella del ADN producida por hibridación y Southern Blot, está compuesta de múltiples hipervariables fragmentos de ADN, mostrando estabilidad somática y es completamente específico de un individuo.

Esta técnica es usada con propósitos forenses, como prueba pericial; el ADN de alto peso molecular (r) puede ser aislada de manchas de sangre y semen de hasta cuatro años de antigüedad, que se encuentren en una tela de algodón y resumida o asimilada para producir marcas de ADN útiles para la identificación de un individuo.

Aún más, el núcleo del espermatozoide puede ser separado de los detritos de las células vaginales, obtenidas del semen contaminado de la vagina por medio de un hisopo, permitiendo la posible identificación del hombre sospechoso.

Esto nos hace pensar que la huella del ADN revolucionará la biología forense, particularmente cuando se trate de la identificación de los sospechosos de violación.

Las muestras biológicas para el análisis consisten principalmente de manchas de sangre y semen en ropas y otras superficies (aún después de varios días o inclusive semanas), -las muestras vaginales tomadas después de una supuesta violación, y algunas veces, raíces del cabello.

Los métodos comunes para determinar el tipo de sangre o semen de las manchas, son revisadas por medio de Divall y Sensabauch.

Estos métodos todos se basan en los sistemas proteínicos como son los antígenos del complejo mayor de histocompatibilidad (CMH) y de los grupos sanguíneos.

Sin embargo, estos sistemas proteínicos tiene poca variabilidad en la población, así que funcionan sólo por exclusión y por lo tanto, se hace necesario usar varios marcadores hasta que se encuentra la diferencia antigénica, entre la evidencia biológica y el sospechoso.

Por ejemplo, si la muestra de sangre de la escena del crimen es tipo O y la del sospechoso es AB, la sangre que sirve como evidencia del crimen, no es del sospechoso.

Si la sangre de un niño es tipo A y la de la madre tipo O, un individuo con sangre B no puede ser el padre, en estos casos, es por tanto, muy sencillo llegar a una solución del problema planteado al perito forense, ya que se llega a la certeza por exclusión.

Sin embargo, cuando los antígenos del sospechoso si concuerdan con la evidencia existente, no se puede hacer un diagnóstico de identidad preciso,

debido a que estos marcadores se encuentran en una frecuencia determinada en la población y la posibilidad de que las muestras coincidan, es elevadísima.

Típicamente una cadena de proteínas polimórfica y el grupo de sangre con sistemas de marcas son usados por el Laboratorio de Ciencias Forenses de la Policía Metropolitana en Londres (Metropolitan Police Forensic Science Laboratory), comúnmente usan los métodos para análisis de sangre.

ABO	DEAMINASA ADENILATE.
AK	ADENILATE KINASE.
CA II	ANHIDRASA CARBONICA.
EAP	FOSFATASA ACIDA DE ERITROCITOS.
ESD	ESTERASA D.
GLO	GLYOXALASA I.
HB	HEMOGLOBINA.
PEP A	PEPTIDASA A .
PGM	FOSFAGLUCOMATASA.
RH	LEWIS Y RHEUSUS.

Detectar la PGM, EAP, ADA y Rh es difícil después de 26 semanas.

Por otra parte, las EsD y CA-II no son posibles de detectar después de un mes. En contraste, solamente cinco sistemas, son hasta la presente, de uso común para identificar marcas genéticas en semen: ABO, PGM, GLO y Lewis.

Todas ellas pueden ser usadas con considerable precaución, porque las muestras de semen analizadas, están frecuentemente contaminadas con los fluidos vaginales que tienen sus propias enzimas y actividad de grupo de sangre.

El semen contiene proteínas protolíticas que reducen aún más la cantidad de proteínas recuperadas, y además, la actividad bacteriana puede ser responsable de los errores que se produzcan, particularmente en la identificación de grupos de sangre ABO.

La huella del ADN sólo puede ser obtenida de alta masa molecular (λ r) degradada.

Se han reportado intentos de aislar el ADN de cadáveres o de material viejo, tales como músculos de 140 años, conservados en ciénagas y de momias de 2,400 años de antigüedad. En ambos casos, sólo fue obtenido un ADN de bajo peso molecular y fue además necesario establecer, si el ADN intacto podría ser aislado para muestras, las cuales podrían ser utilizadas en laboratorios forenses.

Fueron preparadas múltiples pruebas de once diferentes donadores. Las manchas de sangre y semen fueron preparadas con una parte alícuota de material fresco en ropa limpia, que fue secada con aire antes de almacenarse a la temperatura ambiente y humedad.

Se analizaron también raíces de cabello frescos; semen puro y semen contaminado por líquidos vaginales (muestras que fueron tomadas en un periodo conocido después de la relación sexual), se obtuvieron además las muestras de sangre de ambos, hombre y mujer.

Todos los hisopos fueron congelados a -20° C antes de usarse, el ADN fue extraído de toda la sangre, todo el semen, líquido vaginal, raíz de los cabellos, manchas de sangre y manchas de semen por incubación en un SDS/proteinasa, K/dithiothreitol (DTT) mezclados.

Porque todos los experimentos preliminares mostraron que el semen con el líquido vaginal contenían largas cadenas de ADN de la mujer, tendiendo a oscurecer muchas de las bandas procedentes del esperma.

Las células femeninas fueron preferentemente desintegradas por incubación preliminar en un SDS/proteinase y mezcla K.

Los núcleos del esperma fueron insensibles a este tratamiento con la mezcla ya mencionada, porque están ramificadas con proteínas ricas unidas y

cruzadas de thiol y pueden ser también separada de los componentes femeninos por centrifugación.

Los núcleos del espermatozoides fueron subsecuentemente desintegrados por tratamiento con esa mezcla.

Por medio de electroforesis en muestras sobre 0.5% de geles de agarosa muestran una alta masa molecular ADN, que puede ser aislada de manchas de sangre y semen, que tienen al menos dos años de antigüedad y de raíces de cabellos frescos.

Las huellas del ADN obtenidas de manchas de sangre y semen fueron encontradas específicas del individuo en cuestión, cuando fueron comparadas con las muestras de sangre y semen.

Se requirieron aproximadamente 5 ml (microlitros) de semen o el equivalente de la mancha de semen y 60 ul de sangre se requirió para esto.

Los resultados de estas investigaciones muestran que la huella del ADN es capaz de cambiar completamente el énfasis de los grupos de sangre en la ciencia forense.

Usando el sistema de ocho proteínas polimórficas juntas, Sensabaugh habló de una probabilidad de 0.014 para un individuo específico.

En la práctica, el grado de caracterización es más bajo, particularmente cuando el semen es agrupado.

Esto da un alto grado de incertidumbre. En contraste, la condición de no asociación que se ha venido usando en las pruebas tradicionales de grupos de sangre, esto quiere decir que si el fenotipo no casa, no combina, no hace juego, significa que no tiene el mismo origen.

En resumen, usando los métodos de análisis de sangre tradicionales, únicamente es posible asegurar que no corresponden a determinada persona, pero nunca se podrá asegurar que sí le pertenecen.

A.- La Tecnología.

La aplicación de la huella genética depende de la capacidad que tiene de distinguir el material genético básico de los individuos.

Cada ser humano tiene un fenotipo o apariencia física característica, que lo hace único, esto es debido a que posee una información genética única. Fenotipo es lo que se ve, lo físico, lo de afuera. Genotipo no se ve, se hereda en los genes.

La excepción que confirma esta regla, son los gemelos idénticos, ya que esa apariencia física idéntica, se debe a que ambos poseen el mismo material genético.

Todas las células de un individuo, ya sean de la raíz del pelo, los glóbulos blancos o leucocitos, los espermatozoides, los músculos, huesos, piel, etc., contienen la misma información genética de todo el cuerpo humano esto quiere decir, que cada célula contiene los planos de ese ser humano.

Un cromosoma está constituido por una molécula muy grande de ADN, que se encuentra unida a proteínas y que contiene alrededor de 3,000 genes.

En tal forma, el ADN humano está compuesto de 4×10^9 de pares de nucleótidos y por lo tanto, contiene alrededor de 50,000 genes diferentes.

Cada gen se diferencia de los otros por el orden que guarda la secuencia de sus nucleótidos.

El ADN es una sustancia encontrada en el cromosoma, dentro del núcleo de la célula, que aporta el código genético del individuo, que le permite tener unas características únicas.

Este código se expresa en el arreglo de cuatro blocks de construcción llamados bases, estas bases son: la Adenina, (A), la Timina (T), la Guanina (G) y la Citosa (C).

Estas combinaciones son conocidas como base-par parecido a las letras del alfabeto, se repiten millones de veces en cada célula y en su orden determina las características de cada individuo.

Un segmento corto de este código podía verse así:

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

Conociendo las secuencias de las bases de cualquier segmento de una hebra, los científicos están en posibilidades de determinar la secuencia del segmento opuesto, es decir, el complemento del juego helicoidal completo.

Físicamente, la molécula de ADN parece una escalera que ha sido torcida dentro de una estructura conocida como "la doble hélice".

Los lados de la escalera del ADN están compuestas de moléculas de azúcar, desoxirribosa y fosfato, alternas .

Las bases forman los escalones o peldaños. Cada escalón está compuesto de una base-par.

La doble hélice puede ser separada en dos hebras, calentando el ADN o por medio de un tratamiento químico que puede ocasionar que la base-par se rompa, se separe. Cuando el ADN se enfría, el escalón restablecerá su asociación en una alineación sin defectos, debido al complemento natural de las bases.

Solamente cerca de dos o tres por ciento de aproximadamente tres billones de bases-par contenido en una molécula, tiene un código conocido. La función de la secuencia intergenética sobrante, es desconocida. Sin embargo, ha sido determinado que mucho del ADN intergenético consiste de secuencias que tienden a repetirse muchas veces a lo largo de la molécula.

Las enzimas de restricción pueden ser purificadas y usadas para romper el ADN humano en fragmento de diferentes tamaños, los cuales son separados unos de otros por medio de una técnica conocida como electroforesis en gel.

Los principios de esta técnica son los siguientes: El ADN está colocado en una pequeña abertura en un extremo de un gel, que es hecho en un molde (parecido a una jalea de fruta) de alrededor de 10 X 14 centímetros de largo y 0.5 centímetros de densidad.

Se le aplica una corriente eléctrica a través del gel que causa que el ADN se fragmente y se mueve a través del gel; y las distancias recorridas por cada fragmento de ADN, se van ordenando de acuerdo con sus tamaños.

Los fragmentos pueden ser transferidos desde el gel a una membrana nylon como papel, para análisis adicionales.

Este procedimiento es conocido como "Southern Blotting", desde que fue inventado por el profesor Ed Southern y como su nombre lo sugiere, los fragmentos pasados desde un gel a la hoja de nylon, en un camino similar al del movimiento de la tinta dentro de un papel secante.

En segundo lugar, así como contiene ubicaciones o colocaciones restrictivas, el cromosoma también tiene regiones de secuencias repetidas por todas partes a todo lo largo, esto es, combinaciones de bases que ocurren una y otra vez. Una analogía burda sería la repetición constante en un directorio telefónico o una página de apellidos o la recurrencia en un libro de instrucciones. Esto podría claramente ser alguna clase de error de manufactura, pero nadie sabe porque las secuencias están repetidas en el cromosoma.

Un punto importante aquí es que algunos de ellos existen y pueden ser usados para identificar los fragmentos de ADN, ¿cómo se hace?. En un

principio dijimos que en el ADN existen dos hebras como en cierre de cremallera pero en el cual los dientes no casan. Esta es una hebra de ADN.

Hebra o ramal (a) A G C T C T T A

Sólo puede acoplarse o casar con su pareja.

Hebra o ramal (b) T C G A G A A T

Separados completamente los ramales o hebras, los cuales casan de esa manera, tienen una afinidad para cada uno, bajo condiciones apropiadas de vinculación. La hibridización los liga a uno con el otro, para formar una doble hebra o ramal.

Esta afinidad es tal, que requiere sólo un minuto para que ocurra la hibridización y esta propiedad fundamental del ADN es la llave para el uso de las sondas de ADN. En el ejemplo anterior, la secuencia (b) se hibridizará con la secuencia (a).

Cuando el ADN se rompe por una enzima de restricción y es separada en fragmentos, muchos de ellos contienen una porción de secuencias repetidas, puesto que estas regiones ocurren por todas partes del cromosoma.

Es posible purificar estas secuencias repetidas, y entonces medirles el nivel con radioactividad para facilitar la detección de la secuencia.

Estas secuencias radioactivas son conocidas como sondas y se hibridizan con la secuencia repetida presente en los fragmentos separados en el gel.

Así, si nosotros queremos exponer la secuencia (a), manchada sobre una fina membrana nylon para una secuencia complementaria (b) (nuestra sonda), las hebras o ramales complementarias en el cierre de cremallera, pueden encontrarse unas a otras y el ramal será hibridizado con su pareja.

Cuando la membrana nylon se ponga en contacto con una película de rayos X, la radioactividad causará una imagen de bandas y se plasmará en la película, marcadamente, como el código de barras en un paquete de comestibles.

Ciertos puntos restantes, como mencionamos antes, los cromosomas se derivan de ambos padres, así que la distribución de las ubicaciones de las restricciones, y por lo tanto, las separaciones del fragmento, son heredadas.

En el proceso de formación del óvulo y el espermatozoide ocurren algunos reacomodos de ADN, pero al mismo tiempo, algunas secciones grandes quedan alteradas.

Así un hijo tiene características del ADN de ambos padres, pero es un individuo único. (31)

Esta técnica por lo tanto, nos lleva a una completa identificación de un individuo.

La aplicación de la técnica en comento, tiene un gran futuro dentro de los procesos jurídicos.

Por tratarse de una técnica nueva, el vocabulario que para ella se ha inventado, no viene aún en los diccionarios y por tanto, al final del capítulo se da un glosario.

a.- Su inventor.

A principios de los años ochenta un científico británico, el profesor Alec Jeffreys inventó la prueba que actualmente se aplica como prueba pericial usando como base el código genético contenido en los cromosomas humanas, mientras trabajaba e investigaba en la Universidad de Leicester en el Lister Institute Fellow y fue el primero en darse cuenta del enorme valor de esta prueba para la identificación y el fue el que acuñó el término "huella ADN". ("DNA Finger print").

(31) Cfr. Gill, P., Lygo, J.R., Fowler, S.J. and Werrett, D.J. "An Evaluation of DNA Fingerprints for Forensic Purposes" En: Electrophoresis. Vol. 8, No. 2, 1988, pp. 191-194.

Por su contribución a la investigación de la genética, fue nombrado Miembro de la prestigiosa Royal Society y fue premiado con la Medalla Davy por esta sociedad, la medalla Carter le fue otorgada por la Clinical Genetics Society y la medalla Linnean Bicentenary le fue concedida por la Linnean Society.

B.- El método y técnicas usados.

En los Estados Unidos existen en la actualidad tres compañías que trabajan con el sistema forense de ADN: Cellmark Diagnostics, en Germantown en el Estado de Maryland, Lifecodes Corporation en Nueva York y Cetus Corporation en Richmond en el Estado de California.

El sistema de Cellmarcks Diagnostics fue elaborado por Alec Jeffereys de la Universidad de Leicester en Inglaterra y se conoce como "huellas digitales ADN". (32)

Jeffreys descubrió que los genes del hombre contienen múltiples regiones de "minisatélites" que están compuestas de secuencias de nucleótidos en cadena, teniendo una secuencia central común. El número de unidades que se repiten en estos minisatélites y por lo tanto, lo que determina su longitud, varía de un individuo a otro.

(32) Cfr. Jeffreys, A. J. Wilson V., and Thein, S.L. "Hypervariable Minisatellite Regions Human DNA. En: "ature". Vol. 314, 1985, pp. 67-73.

Aunque la mayor parte del ADN humano presenta mínimas variaciones de un individuo a otro, Jeffreys descubrió que existen unas regiones, bautizadas con el nombre de minisatélite y microsátélites, extremadamente variables repartidas a lo largo de los cromosomas. En la obtención de una huella (UNTR), lo que realmente nos interesa son fragmentos de ADN polimórficos, es decir que sean muy distintos de una persona a otra, ya que en la variedad esta la clave del éxito de la técnica.

Los minisatélites no son otra cosa que pequeñas secuencias de bases que se repiten una vez y otra. Así, por ejemplo, si un encadenamiento normal de ADN se escribe AGGATGCTCAAT..., un minisatélite podría ser algo así como AGGACTCTCTCTCTTGCTCAAT... Este contiene múltiples copias del par CT que se repiten de forma muy aleatoria en la cadena de ADN. Un minisatélite tiene entre diez y veinte veces repetidos los pares de bases, mientras que un microsátélite no sobrepasa los cinco pares de bases copiados múltiples veces como resultado, estas minisequencias se pueden presentar con centenares de longitudes distintas, lo que permite diferenciar el material hereditario de distintas personas.

Los genetistas han conseguido identificar, algunas de estas secuencias hipervariables dentro de la población, y sintetizar a partir de ellas sondas radiactivas capaces de identificar los minisatélites de la molécula de ADN con el que se esté llevando a cabo la huella genética. Los minisatélites aparecen en la cromatografía libres y ordenados por tamaños, como hemos mencionado

anteriormente. Este tipo de huellas genéticas se basa en sondas de locus múltiple, llamadas así porque detectan múltiples minisatélites en diferentes regiones del material hereditario. Lo que se obtiene es un complejo patrón de bandas en el que algunas de ellas pueden aparecer borrosas e incluso llegar a desaparecer. Esta pérdida de información puede enmascarar los resultados.

Sin embargo utilizando técnicas de ingeniería molecular, los científicos han podido aislar del genoma humano minisatélites concretos, para fabricar a partir de ellos una batería de sondas revolucionarias. Se trata de las sondas de locus único, capaces de detectar una región de un cierto minisatélite con un alto grado de variabilidad. En la huella genética del sujeto sólo aparecen dos bandas individuales, una heredada del padre y otra de la madre.

Estas variaciones en el ADN se pueden descubrir a través del análisis de fragmentos de restricción polimórficos (RFLP), que ya constituye una técnica estándar de investigación en la biología molecular.

Una muestra de ADN con una enzima de restricción que la corta en fragmentos para después ser colocada en un gel y a través de la electroforesis va a ser dispersada a lo largo del gel.

Para encontrar los fragmentos de las regiones llamadas minisatélites, Jeffreys usó activadores: pedazos cortos de ADN, etiquetados radiactivamente,

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

70

los cuales se adhieren a las secuencias centrales. La localización de esos fragmentos se logra con una película de rayos X.

De esta manera se produce una fotografía de una tira de treinta a cuarenta bandas oscuras, igual a las que parecen en las envolturas de las tiendas de autoservicio.

Existe una variación de la longitud del minisatélite, por lo que cada individuo produce un patrón o modelo de bandas diferentes, así como todos tenemos nuestras propias y únicas huellas digitales.

Ultimamente, Jeffreys ha podido descubrir activadores que reconocen en puntos individuales en las regiones de los minisatélites.

Estos activadores que Cellmark Diagnostics usa en sus laboratorios, producen patrones o modelos de bandas más sencillas y han mejorado la sensibilidad de la tipificación ADN.

Expresa el doctor Alec Jeffreys, profesor del Instituto de Investigaciones Lister de la Universidad de Leicester en Inglaterra, que como ya antes mencionamos, es el decubridor de la técnica que permite revelar el código individual único y muy personalizado que existe dentro de cada persona en lo más profundo de sus células. "El llamado ADN, es decir, el ácidos desoxirribonucleico, es el material genético principal que existe en todas

desoxirribonucleico, es el material genético principal que existe en todas las células vivas, excepto en las células rojas de la sangre o hematíes, las cuales carecen de núcleo", y continúa explicando, "La existencia del ADN se conoce desde hace años y desde entonces la genética ha dado un salto extraordinario, comparable al que realizó el hombre cuando descubrió la forma de crear el fuego. Cada persona posee una estructura de ese ácido desoxirribonucleico muy definida y diferente, por ejemplo, explicándolo científicamente, la gran molécula del ADN está formada por un tipo especial de azúcar (la Ribosa) y por una secuencia de bases, llamadas púricas y pirimídicas. Estas bases se presentan unas frente a las otras formando largísimas cadenas en posibilidades que son casi infinitas.

Para cada persona, estas combinaciones varían y son únicas. Son sus verdaderas marcas personales, sus legítimas señales de individualidad... sus huellas digitales genéticas, pues no existen dos cadenas iguales en el mundo, a no ser el caso de gemelos idénticos. Cada gota de sangre de una persona, posee dentro de su contenido de glóbulos blancos o leucocitos tiene esa cadena. Por lo tanto, si en unos restos sanguíneos dados, se encuentra una cadena similar. Indiscutiblemente la sangre pertenece a esa persona".

Por lo tanto, si en unos restos sanguíneos dados, se encuentra una cadena similar, indiscutiblemente la sangre pertenece a esa persona. (33)

(33) Cfr. Jeffreys, Alec. Revista Science, 10. de agosto de 1986, p. 521.

De acuerdo a lo dicho por Michael Baird de la empresa Lifecodes, la técnica que emplean es muy similar a la Cellmark usando un juego diferente de activadores para la identificación de los polimorfismos de ADN. La mayoría de los activadores detectan secuencias repetidas de número variable específico en cadena (VNTR).

El polimorfismo se refiere a diferentes formas de la misma estructura básica.

Un locus es polimórfico cuando existen muchas variedades de ese mismo gen en la población.

Al nivel molecular, el polimorfismo va desde el simple cambio de un nucleótido en la secuencia de ADN hasta la variación en el número de repeticiones en fila o tándem, de las secuencias repetidas del ADN (VNTR).

Los patrones alélicos o haplotipos, que son el conjunto de alelos que posee cada individuo, pueden ser establecidos estadísticamente de acuerdo con la frecuencia con que se repite dentro de un grupo humano. (34)

Los VNTR son similares a los minisatélites, en lo que se refiere a que también consisten de secuencias repetidas, variando el número de copias de

(34) Cfr. Gill P., Jeffreys. A.J. and Werrett, D>J., "Forensic Application of ADN Fingerprints". En: Nature, Vol. 318 No. 1985, pp. 577-578.

una persona a otra. Sin embargo, aunque en un genoma generalmente hay muchos minisatélites de determinado tipo, Solamente hay un VNTR de cada tipo.

Una vez que se han establecido las frecuencias de los distintos patrones producidos por los activadores para los diferentes grupos étnicos, pueden usarse para calcular la probabilidad de que ocurra cualquier combinación de patrones o modelos en un individuo.

Las diferentes técnicas utilizadas tanto por Cellmark como por Lifecodes para identificación individual, son absolutamente seguros, ofrecen la desventaja de necesitar una muestra ADN en relativo buen estado para ser analizada.

Los fragmentos de ADN que los activadores identifican varían de dos a veinte kilobases, pero el ADN se fragmenta fácilmente si no se ha almacenado con las debidas precauciones.

a.- Las técnicas usadas por Cellmark Diagnostics.

En la empresa Cellmark los científicos extractan y purifican el ADN de una pequeña muestra de sangre, semen y otras células. Después es cortado en partes con enzimas restrictivas de las secuencias específicas del ADN. Los fragmentos de ADN obtenidos, los cuales están cargados negativamente, son

puestos al final de una hoja de gel y expuestos a un campo eléctrico que provoca que se mueva a través del gel.

Las piezas más pequeñas de ADN se mueven más rápidamente que las más grandes, así es que el ADN se separa en bandas por tamaños, las cuales son en este punto, invisibles. La doble hilera de fragmentos son entonces desnaturalizados.

Para preservar el modelo de bandas obtenido, los científicos transfieren los fragmentos de ADN (los cuales incluyen el ADN repetitivo además de otras secuencias) del gel hacia una membrana, este patrón de bandas de ADN puede ser sometido a mayores pruebas.

Después las sondas, que han sido marcadas con una pequeña cantidad de material radioactivo, son agregadas a una solución en la cual se encuentra inmersa la membrana.

Las sondas son agregadas por sí mismas a las bandas específicas invisibles de ADN repetitivas, que ellas adecuaron.

Los fragmentos de ADN contenidos en estas frecuencias repetitivas, son los únicos fragmentos reconocidos por la prueba Jeffreys.

La naturaleza complementaria de la trenza de ADN permite a los científicos la investigación de secuencias individuales (sus características genéticas) en el ADN y detectarlas de la masa que resulta cuando la sustancia es extraída de millones de células.

Porciones específicas de esa hebra o trenza de ADN separadas, son examinadas con la ayuda de las enzimas restrictivas y las sondas de ADN.

Las enzimas de restricción pueden ser como unas tijeras biológicas que cortan el ADN en fragmentos. Esta segmentación es acoplada de una manera muy específica y reproducible.

Cada enzima reconoce una secuencia particular en el ADN y corta las moléculas del ADN en las partes en que esta frecuencia está presente. El número y tamaño de los pedazos de ADN generados por una enzima particular, depende de dónde y con que frecuencia, la secuencia reconocida por la enzima se encuentra en el ADN de una persona específica.

Las sondas son fragmentos más pequeños de una hebra de ADN (tal vez mucha cientos o muchos miles de blocks de construcción de largo), cuya secuencias de bases es conocida.

Estas sondas cuando son expuestas a un ADN desconocido busca la secuencia que ellos complementan y ellos mismos se agregan ahí.

Una sonda es una sección de ADN conocida (AMCT) hasta 20 pares de bases.

Las sondas se hacen radioactivas y de esta manera puede ser detectada la secuencia con la cual se encuentran vinculadas. Esto se logra usando una película de rayos X sobre la cual los segmentos reconocidos por una sonda de ADN radioactiva, son visualizados como una línea o banda.

Para diferenciar a los individuos, y todas las muestras relacionadas con él, se usa una enzima restrictiva que sirve para cortar fragmentos de ADN contenidos en la "frecuencia repetitiva", que ya hemos mencionado.

Las diferencias en el largo de los pedazos obtenidos son después hibridados. Después de clasificarlos por tamaño, por medio de un proceso conocido como electroforesis, estos fragmentos que contienen frecuencias repetitivas son identificados a través del uso de una sonda de ADN.

Los segmentos identificados de diferentes tamaños aparecen en lugares diferentes sobre el pedazo de película y resulta en una banda similar al del código de barras UPC.

Si el patrón o modelo de bandas observado, pertenecientes a un individuo, difieren del patrón o modelo observado en un segundo individuo, esto quiere decir que la primera persona ha sido genéticamente diferenciada

de la segunda. Este modelo de bandas genéticamente determinados, sirve como base para una identificación.

Existen dos clases de sondas como pruebas de identificación: la primera es una sonda de un locus y la segunda es una sonda de varios locus.

La sonda de un locus (SLP) detecta un solo segmento de ADN repetitivo, localizado en un sitio específico o una sola cromosoma.

El uso de la SLP resulta en un modelo o patrón de bandas de ADN, que contiene al menos dos bandas, una por cada segmento de ADN reconocido en cada miembro de un par de cromosomas.⁽³⁵⁾

Si los segmentos reconocidos en ambas cromosomas son del mismo tamaño, sólo un patrón de banda estará presente en la película. De esta manera, los modelos generados por el SLPs, son visualizados como una o dos bandas de código de barras.

Estos modelos de una o dos bandas, no sólo identifican a un individuo, más de una persona puede exhibir el mismo código genético, porque más de una persona posee las mismas características genéticas detectables en una prueba SLPs.

(35) Gill P., Jeffrey A. J. and Errett D. J. Op. Cit. pp. 577-579.

Para obtener un modelo de bandas más específico, se usan en el análisis varios SLPs.

El valor de estas pruebas con propósito de identificación depende de cuanta variación se pueda detectar por cada sonda en diferentes personas.

Las sonda de varios locus (MLPs) sirve para detectar los segmentos múltiples repetitivos localizados en una o varias cromosomas. Con una de estas sondas se obtiene un modelo o patrón de bandas consistentes en unas 20 o 30 bandas.

Debido a que estas sondas generan patrones de bandas múltiples, la probabilidad de que dos personas tengan el mismo código genético es casi imposible.

De hecho, el modelo de las bandas es prácticamente único para cada individuo. La probabilidad de que dos personas no emparentadas entre sí, pueden tener el mismo modelo de ADN detectado por la MLPs, es extremadamente bajo (de uno en 30 billones).

Para llevar a cabo el análisis, primero se trata una muestra de ADN con una enzima de restricción que la parte en fragmentos específicos, por medio de la electroforesis en gel, los fragmentos se dispersan de acuerdo con su tamaño.

Para encontrar los fragmentos que hay en las regiones minisatélites. Alec Jeffreys usó activadores: pedazos cortos de ADN, etiquetados radioactivamente, los cuales se adhieren a las secuencias centrales. La localización de estos fragmentos se logra con una película de Rayos X. Así se produce una fotografía de una tira de treinta a cuarenta bandas oscuras, parecidas a las que aparecen en las envolturas de comestibles en las tiendas de autoservicio.

Existe tal variación en la longitud del minisatélite, que salvo en el caso de gemelos idénticos, cada individuo produce un patrón de banda diferente, así como todos tenemos nuestras propias y únicas huellas digitales.

En los últimos tiempos, Alec Jeffreys ha podido descubrir activadores que la empresa Cellmark usa en su trabajo para asuntos jurídicos, ~~que~~ producen patrones de bandas más sencillas y que han mejorado la sensibilidad de la tipificación del ADN.

b.- Técnica usada por Lifecodes Corporation.

Por su parte, la empresa Lifecodes emplea una técnica muy similar, a la de Ceilamark, usando un juego diferente de activadores para la identificación de los poliformismos de ADN. La mayoría de los activadores detectan secuencias repetidas de número variable en cadena (VNTR).

Los VNTR son similares a los minisatélites, en lo que se refiere a que también consisten en secuencia repetidas, variando el número de copias de una persona. Sin embargo, aunque en un genoma generalmente hay multisatélites de determinado tipo, solamente hay un VNTR de cada tipo. La tipificación exacta del VNTR se logra a través de varios activadores, cada uno de los cuales reconoce un punto VNTR, para caracterizar una muestra del ADN.

Una vez que se han establecido las frecuencias de los distintos patrones producidos por los activadores para los diferentes grupos étnicos, puede usarse para calcular la probabilidad de que ocurra cualquier combinación de patrones en un individuo. Considera que las probabilidades son de una en diez billones.

Aun cuando los métodos utilizados tanto por Cellmark como por Lifecodes para identificación individual, son absolutamente seguros, ofrecen la desventaja de necesitar una muestra de ADN en relativamente buen estado para poder analizarla. Los fragmentos de ADN que los activadores identifican, varían de dos a veinte kilobases, pero el ADN se fragmenta fácilmente si no se ha almacenado con las debidas precauciones lograr suficiente información del análisis del ADN mitocondrial.⁽³⁶⁾

(36) Cfr. L. McNally, R.C. Shaler, A. Guisti, M. Baird, I Balazs, et al., "The Effects of Environment and Drying Surfaces on DNA: The Use of Casework Samples from New York City," Lifecodes Corporation Valhalla, NY, and John Jay College of Criminal Justice, New York, personal communication, 1988.

c.- La técnica usada por Cetus Corporation.

El sistema que por su parte ha desarrollado la empresa Cetus Corporation establecida en Emeryville, en el Estado norteamericano de California y que es la que utiliza la Asociación de Ciencias Forenses (Forensic Sciences Asosiation) tiene la ventaja de ser aplicable al ADN fragmentado y a muestras minúsculas. Este procedimiento usa un método de amplificación de genes conocidos como reacción en cadena de polimerasa (PCR) para seleccionar una secuencia de ADN específica en el genoma, para después multiplicar el número de copias de la secuencia para producir material suficiente para el análisis.⁽³⁷⁾

Para los genetistas, conseguir una huella genética que pudiera reconocer un puñado de bases era como buscar una aguja en un pajar.

La solución a este problema llegó en 1983 con un descubrimiento importante, la amplificación enzimática del ADN o reacción en cadena de la polimerasa (PCR). A partir de una sola molécula de ADN, la PCR es capaz de generar 100,000 millones de copias idénticas en una tarde. Ahora, con esta fotocopiadora biológica, los científicos se encuentran con miles de millones de agujas en el pajar. "A veces, las buenas ideas surgen por casualidad. En mi caso ocurrió así: merced a una extraña combinación de coincidencias, ingenuidad y felices errores, me vino la inspiración un viernes de abril de 1983,

(37) Cfr. Giusti Arnold " Application of Deoxyribonucleic acid (DAN). Revista Science, 10 de junio de 1989, p.1408.

mientras, al volante del coche, serpenteaba a la luz de la luna por una carretera de la montaña del norte de California que atraviesa un bosque de secoyas, me dí de bruces con un proceso que permite sintetizar un número ilimitado de copias de cualquier gen: la PCR".

Así describió Kary B. Mullis -en un artículo que publica en la revista de divulgación científica *Scientific American*- como dio con la reacción en cadena de la polimerasa. Esta ha reemplazado, en gran parte, a la clásica y laboriosa clonación del ADN. En un plásmido -un pequeño anillo de ADN- se puede clonar o copiar la secuencia de ADN humano que se desee. Reprogramando bacterias y levaduras, los biotecnólogos las obligan a producir copias de dicho plásmido. Y de la secuencia buscada. La información sobre esta última se puede obtener utilizando las técnicas de hibridación de oligonucleótidos y de secuenciación. A comienzos de la década de los ochenta, la mayor parte de la información sobre fragmentos de material hereditario procedía de la clonación.

También ha sido la responsable de la polémica que ha puesto en peligro el Proyecto Genoma, con la dimensión por el momento de James Watson, al ser utilizada por el investigador de los Institutos Nacionales de la Salud -NIH- Craig Venter para obtener las secuencias de los 337 genes que quiere patentar.⁽³⁸⁾

(38) Cfr. Einsenstein Barry I. The Polymerase Chain Reaction. En: *New England Journal of Medicine*. Número 322. Enero, 1990.

Recientemente, Russel Higuchi y Henry Erlich de la empresa Cetus, en colaboración con Cecilia Beroldingen y George Sensabaugh de la Universidad de California en Berkeley, demostraron que un sólo cabello cortado puede proporcionar suficiente ADN para la amplificación PCR y análisis subsiguiente.

Erlich dice "Hay tan poco ADN en un cabello que no es medible, pero lo podemos amplificar". (39)

El ADN existente dentro del cabello no tiene origen nuclear, sino que viene del mitocondrio, que son los puntales de fuerza de energía de la célula los cuales tienen sus propios genomas pequeños. Todavía no ha sido posible lograr suficiente información del análisis del ADN mitocondrial para identificar totalmente a un sospechoso de haber cometido un crimen.

Para el análisis forense, actualmente es útil el ADN genómico en cabello que se ha caído o se ha desprendido a jalones. El ADN nuclear contiene genes para las proteínas histocompatibles más importantes, las cuales presentan suficiente variedad individual para ser útiles para fines de identificación, especialmente si se puede clasificar más de uno.

Esto se puede lograr con las células de una sola raíz de cabello, una vez que el ADN ha sido amplificado por el PCR.

(39) Erlich, Henry. "Gel Electrophoresis", En: "Methods in Enzymology", Vol. 68, 1988, p. 153.

Antes, cuando se trataba de comparar muestras de cabello encontradas en el sitio del delito, las únicas características que se podían comparar eran las superficiales de color y textura.

La clasificación que actualmente se logra con el ADN se enfoca directamente hacia lo más característico del individuo, que es su materia genética.

Sin embargo, los métodos usados por la empresa Cetus no tienen la infalibilidad en la identificación que el análisis RFLP puede usarse en muestras que no podrían analizarse por medio de otros procedimientos.

De estos tres medios de tipificación ADN, EL VNTR es el que tiene el patrón de banda más sencillo y es por lo tanto, el más fácil de interpretar.

La molécula del ADN permite descubrir infinidad de detalles de la persona a la cual pertenece, tales como su raza, el color de la piel, de los ojos, del pelo y muchas otras características personales. Estas moléculas se pueden obtener del semen, de las raíces del pelo, de la sangre y de la piel de cualquier área del cuerpo, se considera que las posibilidades de que se encuentren dos personas con el mismo patrón de DNA es de una en lo que significa, que es punto menos que imposible.

Una firma británica patentó una técnica que permite descifrar el código genético individual de una manera muy fácil, por medio de la cual, aunque solamente exista una gota de sangre del sospechoso, simplemente se le toma una muestra de sangre y se colocan en una computadora que permite superponer las grandes moléculas de ADN y si son idénticas, la evidencia es más que apiastante y se puede concluir que ambas pertenecen a la misma persona y si ésta no es el responsable del crimen, al menos se puede asegurar que estuvo en el lugar del mismo.

a) Técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (P.C.R.)

La técnica PCR es un método muy simple para amplificar ácidos nucleicos, sucede algo similiar en el proceso de replicación del ADN en donde el número de moléculas de ADN generadas por PCR, son duplicadas en cada ciclo.

El método de PCR se basa en la repetición de una secuencia de 3 pasos, todos conducidos en una sucesión de diferentes y controladas condiciones de temperatura.

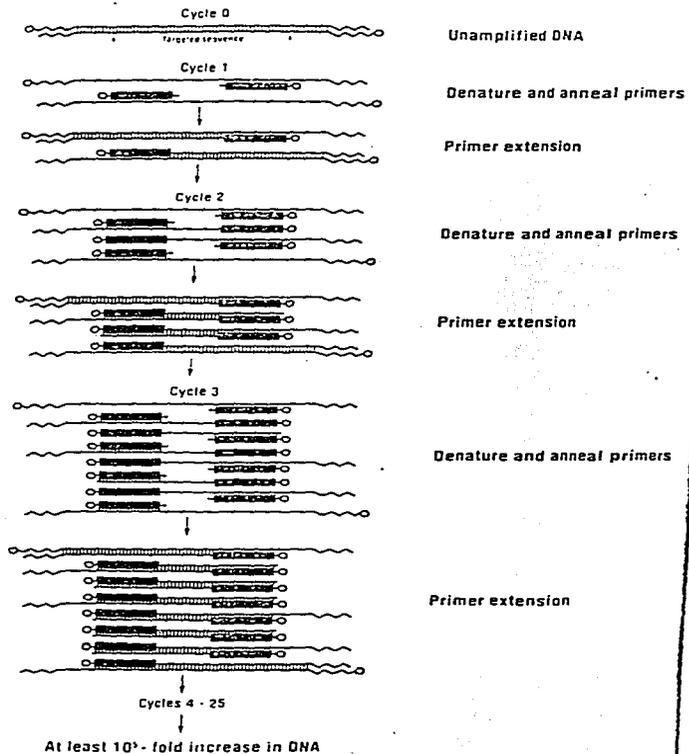
La muestra de ADN de doble cadena referida como patrón o referencia, es desnaturalizada por la incubación a alta temperatura. Las dos cadenas se disocian quedando libres en la solución hasta que la temperatura sea disminuida suficientemente y se logre la fijación o enlace.

Primera extensión se le llama al par de oligonucleótidos sintéticos que se fijan en los extremos de la cadena para ser así amplificada. La secuencia de las primeras, depende de la secuencia que lleva la muestra de ADN al enlazarse a la cadena que será amplificada. Por lo tanto, las primeras se fijan en sentidos opuestos obteniendo diferentes secuencias y no son complementarias una de otra. El tercer paso en el proceso es la polimerización ADN de la extensión del complejo primer-patrón. Las condiciones bajo las cuales el paso de la extensión se lleve a cabo, dependerá del tipo de polimerasa ADN usada. Durante el proceso las primeras extensiones se incorporarán al producto que se amplificará.

Inicialmente, la técnica PCR utilizaba un fragmento klenow del ADN Pol I de *E. coli.* con un paso de extensión conducido a 37 C. El fragmento klenow es muy lábil por lo que se requiere la adición de enzima fresca en cada paso de la desnaturalización, lo cual resulta ser muy tedioso y da por resultado, una rápida acumulación de enzima desnaturalizada en las muestras.

Al utilizar polimerasa ADN thermo estable purificada, de *thermus acuaticus* (polimerasa taq dna), simplifica el proceso y evita la adición continua de enzima fresca en cada paso de la desnaturalización. Aparentemente el producto amplificado, de interés en el punto inicial, se va acumulando después de 3 ciclos. El producto de interés conocido como un "producto corto" se define como la región que comprende la terminal 5 de las primeras extensiones. Las primeras tienen una secuencia bien definida. El producto

Polymerase Chain Reaction



corto tendrá terminales discretas correspondientes a la secuencia de la primera. A medida que el número de ciclos aumente, el producto corto rápidamente resultará el patrón predominante, a la cual las primeras extensiones se fijarán.

En teoría la cantidad de producto corto se duplicará después de cada ciclo, logrando una acumulación exponencial. La eficiencia de ampliación observada experimentalmente, normalmente baja, debido a una variedad de factores, muchos relacionados con la cinética enzimática.

2.- La forma de obtener y preservar la evidencia.

A.- Forma de transferir la evidencia Biológica.

Hay cientos de variedades de evidencias físicas sometidas comúnmente a examen en los laboratorios periciales por las dependencias oficiales. Las evidencias que pueden ser sujetas a análisis de ADN, se limitan generalmente a sustancias que son biológicas en forma natural. En seguida se enlistan los materiales biológicos de los cuales el ADN ha sido aislado exitosamente.

- a.- Sangre y manchas de sangre.
- b.- Semen y manchas seminales.
- c.- Piel y células.
- d.- Huesos y órganos
- e.- Cabellos con y sin folículos.

Además, existen reportes que indican que el ADN ha sido aislado de muestras de orina y saliva con células que contenían núcleo, sin embargo, es extremadamente raro que sea posible obtener suficiente ADN de ambos.

Obtener un mínimo de ADN se puede amplificar con PCR de 30 millones de copias partiendo de 2 hebras de ADN.

Deseamos dejar asentado que no siempre es posible extraer el ADN y analizarlo.

Otros tipos de evidencia biológica, tales como lágrimas, sudor, suero y otros líquidos del cuerpo, no contienen células con núcleo, por tanto, no es posible analizarlos.

Cuando se recaba algún tipo de fluido del cuerpo o piel, se deben usar guantes siempre y tomar todas las precauciones que a este respecto se recomiendan, para evitar su contaminación

Estos tipos de evidencia podrían ser usados para involucrar a una persona en un crimen o probar su inocencia.

Las evidencias biológicas son generalmente transferidas por una de dos maneras: directa o indirecta.

a.- Depósitos directo.

Sangre, semen, piel, huesos, cabello, pueden ser transferidos al cuerpo de un individuo, a su ropa o directamente a un objeto de la escena del crimen.

Algunos especímenes de líquidos biológicos que han sido depositados, se vuelven manchas y se adhieren a la superficie o al sustrato.

En el caso de la piel, huesos y cabello, sólo pueden ser transferidos por contacto directo y depositados en la siguiente forma:

El ADN del presunto es depositado en la víctima, por ejemplo, la sangre o semen queda en la víctima o su ropa.

El ADN del presunto responsable queda depositada en el objeto (la sangre del presunto responsable es encontrada en el arma homicida).

El ADN del presunto responsable queda en un lugar (el semen en las sábanas).

El ADN de la víctima queda en un lugar (la sangre de la víctima en el vehículo del presunto responsable).

El ADN de la víctima queda en un objeto (la sangre de la víctima en un reloj del presunto responsable)

El ADN de la víctima o el presunto responsable queda sobre un testigo presencial (la sangre en la ropa de los mirones).

El ADN de los testigos queda en un objeto.

El ADN de los testigos queda en un lugar.

b.- Transferencia secundaria.

Estas evidencias podrían ser transferidas a una víctima, sospechoso, testigo, objeto o lugar a través de un medio.

En una transferencia secundaria, no existe contacto directo entre la fuente original y la superficie de la ropa, por ejemplo, la ropa de una víctima de violación puede presentar manchas de semen o que pueden ser extraídas de las sábanas de algún hospital de urgencias o la sangre de una víctima por disparo de arma de fuego.

Es obvio que una transferencia intermediaria no proporciona siempre una prueba positiva que ligue directamente a un individuo con un crimen específico,

pero es al menos un indicio que sirve para hacerlo sospechoso y obligar a su investigación.

B.- Forma de recabar la evidencia.

De la habilidad para recoger la evidencia biológica de la escena del crimen depende mucho el éxito de los análisis de ADN.

La cantidad y el tipo de evidencia recogida y la técnica usada para ello, así como la forma de preservarla es uno de los puntos más importantes del programa de pruebas periciales del ADN.

A menos que la evidencia sea apropiadamente documentada, recogida, empacada y preservada, no serán satisfechos los requisitos legales y científicos para la admisión de la prueba en su juicio.

Si la evidencia no es documentada apropiadamente al ser recabada, su origen puede ser cuestionado.

Si no es apropiadamente recogida, su actividad biológica se puede perder.

Si no es apropiadamente empacada podría ser contaminada y si la evidencia del ADN no es apropiadamente preservada, se puede descomponer y deteriorar.

Cualesquiera de estos efectos afectaría el resultado de los análisis.

C.- Forma de documentar la evidencia.

En las etapas iniciales del examen de la evidencia física se llevan a cabo las actividades que tienen lugar en la escena del crimen, tan bien como en el laboratorio pericial.

La documentación es importante desde dos puntos de vista: el legal y el científico.

Nada debe ser alterado hasta que su condición original y posición haya sido registrados.

Generalmente, se recomienda más de un método para documentar la evidencia.

a.- La evidencia en la escena del crimen.

La evidencia debe ser fotografiada antes de ser tocada, movida o recogida.

La evidencia y su posición relativa en la escena del crimen debe ser gravada en videotape, de ser posible.

La relación especial de la evidencia relativa a la escena del crimen y otros objetos presentes deben ser incluidas en un croquis.

La condición de la evidencia biológica podría ser anotada y puesta en el croquis.

b.- Las evidencias en el laboratorio forense.

El empaquetado, etiquetado, sellado y su exhibición debe ser cuidadoso.

El empaquetado debe ser marcado con una única marca de identificación del laboratorio, que indique el número de la averiguación previa y la fecha.

El número exhibido deberá ser colocado y comparado con el informe rendido, para asegurar que se están recibiendo las muestras correctas.

El contenido de la evidencia deberá ser anotado, puesto en un croquis y fotografiado.

Las muestras deberán ser "checadas" contra el informe rendido para asegurarse de que la descripción de las mismas es correcta.

La localización y condición de la evidencia biológica de cualquier muestra, deberá ser fotografiada y anotada.

Si se hace alguna prueba preliminar, la naturaleza de la prueba y el resultado obtenido, deberá se registrado.

Se deben usar siempre guantes limpios para evitar cualquier contaminación.

D.- Forma de empaacar la evidencia.

Una vez que la evidencia biológica es transferida, deberá permanecer en la superficie del objeto, por absorción o adherencia.

En general, la evidencia líquida será absorbida, mientras que la sólida será adherida.

El método de recogerlas dependerá del estado y condición en que se encuentre la evidencia.

a.- Sangre y manchas de sangre.

a).- Sangre líquida.

La sangre tomada directamente de una persona debe ser recabada por personal médico calificado.

Dos tubos de ensayo con sangre de por lo menos 5 ml. cada uno, deberán ser recabados con un anticoagulante.

Si los análisis convencionales de suero y/o análisis de drogas alcohol se le hacen a la muestra, se deberán recoger tubos adicionales de sangre.

Generalmente, la muestra de sangre para análisis de sueros convencionales, pueden no contener preservativos y el tubo para pruebas de drogas o alcohol deberán contener NaF (sodio=fluor).

Cada tubo de ensayo deberá ser etiquetado con la fecha, el tiempo, nombre de la sustancia, localización, nombre de la quien la recogió, número de la averiguación previa y número de exhibición.

- Las muestras de sangre deben ser refrigeradas (NO CONGELADAS) y enviadas al laboratorio pericial lo antes posible. Nunca se debe usar hielo seco para conservar frío el tubo de ensayo.

b).- Líquidos.

La sangre líquida debe ser recogida con un tubo de ensayo limpio, perfectamente esterilizado.

Un coágulo de sangre puede ser transferido a un tubo de ensayo limpio con una espátula limpia.

Se puede usar una tela de algodón limpia, gasa o hisopo de algodón, para absorber la sangre líquida o coagulada si con otros equipos no puede hacerse (se deben evitar áreas que contengan sólo suero), si va a transcurrir algún tiempo antes de que pueda ser llevada la muestra al laboratorio, la tela manchada de sangre puede ser secada con aire o directamente con luz del sol, antes de someterse a las pruebas de laboratorio.

Las muestras deben ser clasificadas con el número de la averiguación previa, fecha, tiempo, localización y el nombre de quien la recogió.

Las muestras de sangre fresca, si son recogidas pueden ser preservadas en un anticongelante suave y conservadas en un refrigerador.

Estos especímenes deben ser enviados al laboratorio lo antes posible.

b.- Manchas de sangre fresca.**a).- Prendas de vestir con manchas de sangre.**

Las prendas de vestir que tengan manchas de sangre deben ser puestas en una superficie limpia o colgándolas para permitirles que se sequen con el aire o directamente a la luz del sol, pero nunca con algún tipo de secadora.

Las prendas de vestir mojadas o con manchas de sangre fresca nunca se deberán recoger y guardar en un contenedor hermético o bolsa de plástico, pues esta práctica puede causar que retengan humedad lo cual promoverá que crezcan las bacterias y deterioren la muestra.

Cuando las ropas y las manchas estén secas se podrán empacar en una bolsa de papel debidamente rotulado.

b).- Objetos con manchas de sangre fresca.

Los objetos pequeños manchados con sangre fresca se deberán dejar secar al aire y después recogidos.

Se deberá hacer un esfuerzo para preservar la integridad de cualquier mancha de sangre durante su empaqueo y transportación.

De los objetos grandes que no pueden ser removidos de la escena del crimen y que tienen manchas de sangre fresca, ésta se puede transferir a una tela limpia de algodón.

Esta tela de algodón conteniendo la mancha de sangre debe dejarse secar al aire libre antes de empacarse en un envase de papel.

Todos los objetos y envases deberán ser apropiadamente rotulados.

c.- Manchas de sangre seca.

a).- Manchas de sangre seca en objetos muebles.

Las manchas secas de sangre sobre armas, ropas y otros objetos muebles, deberán ser recogidas separadamente y se debe de llevar todo el objeto.

Cada objeto debe ser puesto en su propio empaque de papel, sellado y rotulado.

b).- Manchas de sangre seca sobre sólidos.

Las manchas de sangre deberán se fotografiadas, documentadas y además, se debe elaborar un croquis.

Las manchas puede ser raspada del objeto, sobre una pieza limpia de papel.

La pieza de papel es metida dentro de un "druggest fold" y puesto en una envoltura que se sellará.

- Cada objeto deberá ser rotulado.

c).- Manchas de sangre en objetos grandes e inamovibles.

Como paredes, concreto, etc, de los cuales la mancha no puede ser cortada. La mancha debe ser documentada fotografiada y de ser necesario, se hará un croquis.

La mancha de sangre puede ser raspada directamente del objeto dentro de un pedazo de tela de algodón de hebra fina humedecida con solución salina esterilizada o agua destilada, frotando el área con la tela. Después se pondrá a secar y se guardará en un paquete de papel.

La costra de sangre puede ser raspada directamente dentro de una bolsa de papel.

El papel debe se puesto dentro de una envoltura sellada y debidamente rotulada.

Se deberá obtener siempre un control, repitiendo el proceso sobre una área adyacente pero sin mancha, de la superficie que contiene la mancha.

d) Manchas secas de sangre sobre alfombras, tapices, madera y otros objetos que pueden ser cortados.

El área manchada deberá ser documentada y previamente descrita.

Un pedazo de objeto que contenga la mancha de sangre, puede ser removido cortándolo con un instrumento cortante limpio.

Cada pedazo cortado deberá ser empacado separadamente y rotulado.

Se deberá recabar también un pedazo del mismo objeto pero que no esté manchado, para control.

E.- Semen y manchas de semen.

a).- Semen y manchas de semen líquido encontrado en el lugar del crimen.

El semen deberá ser documentado usando notas, fotografías, videotapes y croquis.

Se puede usar una jeringa limpia o una pipeta disponible para transferir semen líquido a un tubo de ensayo estéril. (no se debe acercar la abertura de la pipeta a ningún líquido del cuerpo sin tener en cuenta la fuente).

El tubo de ensayo deberá ser rotulado con el número de caso, fecha, tiempo, ubicación y nombre del que lo haya recabado.

Se debe mantener en refrigeración y enviarse al laboratorio lo antes posible.

b).- Manchas de semen y objetos muebles.

Las manchas y otros objetos muebles, se deberá recoger así: Si un artículo tiene una mancha fresca, se debe permitir que ésta se seque al aire libre completamente, antes de recogerla del objeto.

Cada objeto deberá empacarse por separado en un empaque limpio de papel.

Se deberá empacarse por separado en un empaque limpio de papel.

Se deberán empacar, sellar y rotular.

Los paquetes deberán ser refrigerados, de ser posible, y enviados al laboratorio lo antes posible.

c).- Manchas de semen sobre objetos grandes que pueden ser cortados.

Ejemplos de objetos grandes que pueden ser cortados y que podrían contener manchas de semen son: alfombra, ropa de cama y tapices.

La evidencia deberá ser documentada como ya se ha descrito antes. Un escalpelo limpio o tijeras podrían ser usados para cortar el área manchada.

Cada pedazo cortado deberá ser puesto por separado en una pieza limpia de papel.

Se deberá poner en un "druggist folder" o un empaque de papel apropiado, sellarse y rotularse.

d).- Manchas de semen sobre superficies que no absorben y son inamovibles.

Ejemplo de estas superficies son: pisos, mostradores y superficies metálicas y telas como el rayón.

La mancha de semen deberá ser documentada y se deberá usar un escapelo limpio para raspar la mancha de semen sobre un papel limpio y el papel deberá ser guardado dentro de un "druggist folder".

El escapelo deberá ser limpiado entre cada uso, para evitar cualquier contaminación.

Cada "druggist folder" deberá ser colocado dentro de su empaque de papel, sellado u rotulado.

e).- El semen como evidencia en delitos sexuales.

Las víctimas de los delitos sexuales son siempre examinados en los hospitales o por médicos legistas.

La evidencia física deberá ser recogida usando los procedimientos establecidos.

Se debe usar un estuche estándar para casos de violaciones, con objeto de recabar la evidencia de la vagina, ano y boca.

Deberá empacarse, sellarse, rotularse y enviarse al laboratorio lo antes posible.

f.- Piel, órganos y huesos**a).- Piel, órganos y huesos frescos.**

- Cada evidencia deberá ser descrita en notas, y documentada por medio de fotografías, croquis o videotape.

Este tipo de evidencia deberá ser recogida con un par de pinzas limpias.

Se deberá depositar en contenedores limpios y sin usar fijadores.

Deberá ser sellado y rotulado y guardado en un congelador. La evidencia deberá ser enviada al laboratorio lo antes posible.

b).- Piel, órganos y huesos viejos.

Deberán ser fotografiados, y se hará un croquis antes de recogerse. Se debe describir el tamaño, estado en que se encuentran y muestra de cada uno, así como su colocación en el lugar del crimen.

Cada uno deberá ser recogida con guantes limpios. Cualquier otra evidencia que se encuentre relacionada deberá ser recogida también.

Se debe tener cuidado para evitar la contaminación de una muestra con otra. Se deben usar diferentes guantes para manejar cada muestra.

Se deberán poner en un contenedor limpio, sellarse y rotularse.

La evidencia deberá ser guardada en un refrigerador y enviada al laboratorio lo antes posible.

g.- Orina, saliva y otros fluidos del cuerpo.

a).- Manchas.

- Las manchas de orina, saliva y otros fluidos del cuerpo, pueden ser recogidos en la misma forma o removidos raspados o cortados.

Deberán ponerse en un sobre de papel limpio.

Deberá sellarse, rotularse y transferirse al laboratorio lo antes posible.

h.- Cabellos.

Cuando la evidencia son cabellos, deberán ser recogidos usando un par de pinzas limpias.

Cada uno deberá ser empacado por separado, sellados y enviados al laboratorio.

Se debe tener cuidado de no dañar las raíces del cabello. Los cabellos mezclados con sangre, piel u otros fluidos del cuerpo deberán ser tratados con cuidado. Se deberán poner en un contenedor limpio, sellado y rotulado.

La evidencia deberá ser guardada en refrigerador y enviada al laboratorio lo antes posible.

Si los cabellos están mezclados con fluidos frescos del cuerpo, y la dilación para enviarlos no se puede evitar, la mezcla deberá secarse completamente.

F.- Procedimiento inicial de los laboratorios.

Una vez que la Unidad de ADN ha recibido el caso y éste le ha sido asignado a un examinador, se hace las siguientes recomendaciones, para iniciar el procedimiento de analizar el ADN contenido en la evidencia.

Se debe usar una forma en la cual se llevará el registro del procedimiento preliminar de cada muestra. La información que debe incluirse en relación con la evidencia es:

- a.- Descripción**
- b.- Información del rotulado.**
- c.- Descripción de la evidencia.**

d.- Algún otro objeto incluido en el paquete.

e.- El número de caso y el objeto.

f.- Fecha y nombre del examinador.

Las fotografías, notas y croquis deberán ser usados para documentar la localización y muestra del área manchada, de ser necesario.

La localización, tamaño y condición de cada muestra de mancha biológica deberá ser refrigerada.

Cada resultado preliminar de las pruebas y cada evidencia recogida deberán ser registrados.

Los resultados de las pruebas en cada objeto deberán ser asentados en una hoja de registro.

Se deberá usar una forma para registrar la información acerca de cada muestra para ser sometida al análisis del ADN. La información que deberá ser incluida es la siguiente:

a.- Número de caso.

b.- La descripción del objeto y su número.

c.- La localización de la mancha.

d.- El tamaño y forma de la mancha.

e.- La condición en que se encuentran las manchas mezcladas de fluidos.

f.- Cantidad de la muestra.

g.- El número del tubo de extracción.

El ADN de cada muestra será extraído y deberá ser removido de su entorno con extremado cuidado, para evitar cualquier disminución o contaminación.

Se debe hacer cualquier esfuerzo para preservar una porción de la muestra, para futuros análisis. Estos especímenes deberán ser conservados en un congelador.

Cada espécimen de ADN removido de su entorno para ser puesto en un contenedor separado.

Cada espécimen para análisis de ADN deberá ser documentado en una hoja de inventario antes de la extracción

Una muestra de control en blanco deberá ser recabada para objetos que deberán ser analizados.

Se deberán guardar porciones de los especímenes no utilizados, debidamente documentados, en el refrigerador.

G.- Procedimiento para evitar las Muestras

Debido a que cada caso es único, es necesario una consulta con el laboratorio que hará el análisis. Cuando el caso es aceptado por ellos, tienen un procedimiento que hay que ajustarse.

Ninguno de ellos acepta las muestras que vienen directamente del lugar del crimen.

En todos los casos de delitos, la evidencia debe recogerse primero y enviarse para su examen a un laboratorio forense, con el objeto de determinar las especies de sangre (humana o animal).

Con las muestras de semen, primero hay que tener seguridad de que sí existen células en el espermatozoide.

Con las muestras de cabellos se debe verificar si tienen o no raíz.

Además, en el caso de la sangre, se deben llevar a cabo pruebas estándares. El resultado de estos análisis es el que se envía a los laboratorios especializados.

Las evidencias que se envían deben contener la siguiente información:

- Qué pruebas de ADN se requieren y con cuales muestras se va a comparar.
- Una lista de muestras y su número de identificación.
- Condiciones en que se encuentran las muestras.
- Raza a la que pertenece el sospechoso.
- Una copia del reporte de laboratorio.

H.- Forma de preservar el envío.

La evidencia recogida de la escena del crimen deberá ser guardada apropiadamente para evitar la degradación del ADN.

En general, todas las muestras deben ser guardadas a baja temperatura (4°C).

Si las muestras serán examinadas hasta dentro de varias semanas, deberán ser congeladas. La temperatura ideal para esto es de -70°C.

Sin embargo, debe evitarse el congelar y descongelar repetidas veces, debido a que esto reduce la cantidad de ADN que puede ser utilizada.

Antes de almacenar las muestras de manchas, hisopos y raíces de cabello, deberán de ser secadas con aire a la temperatura ambiente, para evitar que crezcan hongos y bacterias. Después deben ser puestas en contenedores resistentes a la humedad.

Los órganos y pieles deben ser congelados sin agregar líquidos ni preservativos.

Si no es posible congelar una muestra, se debe almacenar a la temperatura ambiente, en bolsas de papel, pues las de plástico pueden retener humedad y eso causaría su deterioro. A la bolsa se le debe sacar todo el aire y sellarla, para preservarla de la condensación.

Las muestras frescas deben ser puestas en tubos de plástico y después congeladas, si van a ser guardadas por un largo periodo antes de hacerles las pruebas.

También se puede manchar una tela con la sangre líquida, pues es más fácil almacenarla así.

Las muestras congeladas deberán enviarse en hielo seco.

I.- Procedimientos en la Cadena de Custodia.

El laboratorio que nosotros consultamos, Cellmark Diagnostics da una estricta garantía en su procedimiento de envío de muestras a través de una cadena de custodia.

Todos los materiales necesarios para obtener la muestra y asegurar la identificación positiva de todas las partes involucradas, es proveído por ellos mismos.

Las partes se identifican con documentos, fotografías, firmas y testigos.

Se usa un transporte de correo "express" para transportar las muestras y así asegurar la preservación de la cadena de custodia.

Después de haber recibido las muestras en el laboratorio, el paquete es inspeccionado, registrado y de haber necesidad de guardarla, se hace en una gaveta congelador.

El técnico asignado al caso firma cada muestra que va a ser probada.

Una sola forma de cadena de custodia acompaña a todas las muestras a través del procedimiento entero.

Siempre que una muestra va de una estación a otra durante la prueba, o es transferida de un tubo de ensayo a otro, el procedimiento es testificado por un segundo técnico y documentado por ambos en la forma de la cadena de custodia.

J.- Reporte del Resultado de la Prueba.

El tiempo normal de procedimiento toma de 4 a 12 semanas, comenzando a contarse cuando las muestras llagan al laboratorio y dependiendo de la naturaleza específica o de la evidencia del caso.

Siempre que el material celular es dejado en la escena del crimen, puede potencialmente servir como una fuente para extraer el ADN.

La forma más frecuente de evidencias forenses disponibles para pruebas, son la sangre fresca, el semen, las raíces de cabello y las muestras postmortem.

Debido a que el ADN se encuentra presente únicamente en las células nucleares del cuerpo, no se encontrarán en la saliva, excepto cuando las células epiteliales se encuentran presentes y en el caso del semen, éste puede carecer de células de esperma.

Sangre.- La sangre es la muestra más común para pruebas, tanto en forma líquida como seca. El ADN extraerá de los glóbulos blancos o leucocitos, así como del plasma.

La sangre líquida es usualmente tomada de sospechosos o de víctimas conocidos, para ser comparadas con las muestras desconocidas, recogidas del lugar del crimen.

Idealmente, deberá ser de un mínimo de 5 mililitros de sangre, con una muestra duplicada, siempre que esto sea posible.

Las muestras deben ser recogidas en Lavander EDTA (Na₂ y EDTA (k₃) o tapa gris (sodio-fluor) tubos de ensayo para sangre. Usando rojo (sin preservativos) o fluoride amarillo (ACD) tubos de ensayo requeridos para recoger la mayor cantidad de sangre para poder obtener suficiente ADN para pruebas. Los tubos de ensayo conteniendo Heparim sodium (tapa verde) son los más difíciles para trabajar y deberán ser evitados.

Las manchas de sangre también pueden ser usadas. Las pruebas de laboratorio han mostrado que el ADN puede ser extraído de manchas muy pequeñas, pero es claro que del tamaño de la muestra depende el mayor éxito de la prueba.

En este caso, el factor más importante es la concentración de la mancha, por ejemplo, existe la posibilidad de extraer suficiente ADN de una mancha de un cuarto de pulgada de diámetro, pero pudiera no tenerse éxito en una mancha más grande. Más aún, el tipo de tela manchada puede afectar la extracción.

Los colores oscuros y los materiales pesados, tales como la mezclilla, se ha comprobado que dificultan el proceso de extracción más que los colores claros y las telas livianas como el algodón y el nylon.

Las manchas de sangre que se hayan examinado en un laboratorio forense, son usualmente, suficientes para el análisis de ADN.

Semen.- El semen es otra sustancia de las comunes en este tipo de análisis y es la principal evidencia en los casos de delitos sexuales. Es común tener que extraerlos de materiales manchados, tales como ropa y sábanas o de la vagina o el ano así como de hisopos con los que se haya recogido.

Las células del esperma son las que contienen el ADN, no el líquido seminal. Sin embargo, antes de que el análisis se lleve a cabo, las muestras recogidas podrían ser primero examinadas para determinar si el esperma lo contiene o no.

Una vez que la presencia de esperma es confirmada, puede ser usada para análisis de ADN.

Tal y como sucede con la sangre, el tamaño de la muestra de semen necesario para una prueba de ADN, depende del tipo de material y la concentración de la mancha. Una muestra de semen del tamaño de una moneda (de 5 a 10) milímetros, es suficiente.

Uno o dos hisopos de algodón provenientes de una violación son suficientes generalmente para hacer la prueba de ADN, inclusive, se ha extraído suficiente ADN de un solo hisopo de algodón.

Diferentes tipos de raíces de cabello (de la cabeza, el bigote, la barba, etc.), así como diferentes raíces de cabello del mismo tipo, pueden contener cantidades diferentes de ADN. Sin embargo, es posible obtener suficiente ADN de la más pequeña raíz del pelo para análisis, usando las sonda de un locus (SLPs), lo ideal sería, aproximadamente 10 raíces para producir el modelo o patrón de ADN.

Otras muestras.- En muestras postmortem, el éxito del análisis depende del estado de descomposición del cadáver. Esto depende del tiempo que ha transcurrido desde su muerte, y la temperatura a la cual el cuerpo ha sido guardado.

Las muestras postmortem de sangre pueden ser usadas sólo cuando el cadáver se encuentra relativamente fresco. El bazo o la médula espinal son buenas fuentes de ADN el tamaño de estas muestras debe ser al menos de un centímetro cúbico.

En el caso de que el cadáver esté en un gran avance de descomposición, la mejor muestra puede ser la de un hueso. Tales muestras pueden ser seleccionadas de los huesos esponjosos porque son los más ricos

en ADN, (el mejor puede ser la costilla) un hueso del tamaño de un centímetro por dos milímetros, pueden ser suficiente.

El tiempo que se tardará en hacerles las pruebas de ADN a las muestras es:

Sonda de un locus (SLPs) 2 semanas preparación (extraer el ADN digerirlo realizar la electroforesis y la Southern Blot).

2 días Hibridización.

1 - 3 semanas El revelado de la placa.

Sonda de varios locus (MLPs).

En los casos en los cuales se usan las MLPs, las membranas son rayadas con SLPs y el tiempo de revelado varía grandemente dependiendo de la cantidad de ADN presente en la membrana. (Una pequeña cantidad de ADN en la membrana, requiere de una larga exposición).⁽⁴⁰⁾

3.- Las pruebas de ADN en el Derecho Civil.

A.- En casos de paternidad disputada.

Las células contienen dentro toda la información que se necesita para

(40) Cfr. Henry C. Lee, R.E. Gaenssles, P. David Bigbees y James J. Kearney, Guidelines for the Collection and Preservation of DNA Evidence, Journal of Forensic Identification. 344/41 (5) 1991.

producir otro cuerpo humano completo, este proyecto humano es llevado en diferentes empaques de información, conocidos como cromosomas y el material del cual están hechos se llama ADN.

Hay 46 de estos empaques en cada célula y ellos pueden, por medio de características comunes, (tal como aparecen bajo el microscopio), unirse en 23 pares.

Con la fertilización del óvulo por el esperma, cada uno de ellos contiene 23 empaques solos y ya combinados, producen un total de 46 cromosomas.

Los patrones o modelos generados usando las MLPs es único para cada persona, tal y como la huella de los dedos pero por cada información adicional relacionada, puede saberse el origen del parentesco.

Esto es posible debido a que aproximadamente la mitad del patrón del ADN del niño es heredado de cada padre y son la base para el uso del ADN y la huella genética contenida en él, para determinar un caso de paternidad.

A pesar de que el niño tiene características del ADN de sus padres, es un individuo único.

Cellmark Diagnostics usa dos tipos de pruebas de paternidad MLP (33.6) y (33.15). En promedio, estas dos pruebas juntas pueden detectar entre 40 y 60 diferentes segmentos de ADN individual.

De esta forma, 40 a 60 diferentes bandas son visualizadas sobre una película y pueden ser usadas como puntos de comparación.

Para establecer la paternidad, se comparan las huellas del ADN de la madre, del padre y del niño. Todas las bandas que estén en el mismo lugar en las bandas del niño y la madre, son identificadas y marcadas. Las bandas sobrantes en la huella del ADN del niño, deben provenir del padre biológico.⁽⁴¹⁾

Pueden ocurrir mutaciones en la herencia del patrón de las bandas generadas por las sondas, resultan una o dos y en casos muy raros, hasta tres bandas que no pueden ser asignadas al padre ni a la madre.

Estas bandas no asignadas a ninguno de los dos padres, pueden encontrarse en casos de una verdadera paternidad. Esto es debido a que las MLPs detectan segmentos en los cuales el ADN haya sufrido algunas variaciones en la transmisión del código genético de una a otra generación.

Las estadísticas que se emplean conservadoramente, asumen que todas las bandas no asignadas, son del padre. En algunos casos, las mutaciones maternas pueden ser detectadas usando el SLP cuya secuencia de identificación está en donde ocurrió la mutación. Estas bandas son algunas veces eliminadas, considerando las bandas paternas específicas.

(41) Cfr. [1] Kobilinsky, L. and Levine, L., "Recent Application of DNA Analysis to Issues of Paternity", Journal of Forensic. Vol. 33, No. 5, Sept. 1988. pp.1107-1108.

La presencia de las bandas no asignadas impacta las probabilidades calculadas. Por ejemplo, en algunos casos 14 bandas no maternas en un niño, fueron encontradas en el supuesto padre.

Las probabilidad de que un hombre no emparentado tenga las mismas bandas, es de una en 268 millones.

Si en un niño son encontradas 14 de las 15 bandas no maternas iguales a las del supuesto padre, las probabilidades de que se trate de un hombre no emparentado con él, son de una en 23 millones.

La MLP minimiza el efecto de las mutaciones que puede tener el resultado final, debido a la gran cantidad de bandas que están presentes en el patrón.

El uso de dos diferentes MLP siempre reduce el bazo o la médula espinal considerablemente dándose la posibilidad de llegar a una falsa determinación.

Cuando el hombre no es el verdadero padre del niño, la mayor parte de las bandas paternas en el ADN del niño, no serán las bandas del ADN del patrón o modelo del supuesto padre. No puede ser confundida una mutación con una falsa exclusión, cuando se usa la prueba de la huella del ADN.

Para aplicaciones en casos de paternidad, los sobrantes que dos personas no emparentadas posean de la misma banda de ADN paterno, han sido calculadas de una en 30 billones.

Dado que la población de la Tierra es de 5 billones de personas (y solamente 2.5 billones son masculinos) no es posible estar más seguro de la determinación de una paternidad, con alguna otra prueba disponible en un estudio comparativo de la prueba de la huella contenida en el ADN, con los métodos tradicionales usados como pruebas de paternidad.

En los Estados Unidos de Norteamérica se hizo un estudio⁽⁴²⁾ con el objeto de hacer comparaciones entre la huella genética del ADN como prueba y los métodos tradicionales usados para pruebas de paternidad.

A las muestras provenientes de 191 casos se les hicieron pruebas de una serie de grupos de sangre y marcas de proteínas polimórficas.

Las huellas genéticas del ADN fueron obtenidas de todas las muestras por medio de las sondas de varios locus 33.6 y 33.15

(42) Cfr. Louis A. Tonelli, Karen R. Markowitz, Mariane B. Anderson u otros - Use of Deoxyribonucleic Acid (ADN) Fingerprints for Identity Determination: Comparison with Traditional Testig Metods - Part I Journal of Forensic Sciences, JFSCA, vol 35, No. 8, Nov. 1990. pp.1265-1269.

El sistema de marcas genéticas usado tradicionalmente cuando existen disputas sobre la paternidad incluye antígenos de glóbulos rojos o hematíes, enzimas de glóbulos rojos, suero de proteínas; y recientemente, antígenos de linfocitos humanos.

Estas marcas pueden servir para excluir una falsa acusación o producir una probabilidad de que el individuo en cuestión, es el padre biológico.

Debido a los avances recientes en el ADN recombinado, es necesario capacitar personal especializado en hacer pruebas en sueros con fines forenses, como alternativas de las pruebas tradicionales.

El uso de las sondas de ADN han hecho posible establecer la identidad con la mayor certeza.

Haremos una comparación con el objeto de examinar la seguridad y utilidad de la huella genética en el ADN para determinar la paternidad.

a.- Material y métodos usados.

La prueba preliminar.

Las muestras de sangre de 191 madres, hijos y posibles padres (trío), fueron analizados usando el método electroforético de aglutinación de glóbulos rojos para detectar las marcas genéticas en el sistema de antígenos de seis

glóbulos rojos, el sistema de cuatro células rojas de enzimas y el sistema de seis proteínas de suero.

La presencia de un alelo en el niño, que está ausente en la madre, así como el supuesto padre, constituye una prueba de que él no es el padre.

Un índice de valuación de la paternidad (PI) fue calculado en casos donde la exclusión de la paternidad no fuera evidente.

En términos sencillos, la evaluación del PI, es la proporción de la probabilidad que el supuesto padre es el verdadero padre biológico, contra la probabilidad de que otro haya engendrado al niño.

La valuación PI se basa en la frecuencia con la cual los alelos paternos obligatorios pudieran ser producidos en un solo gameto con el supuesto padre, en comparación con la frecuencia en un solo gameto de cualquier otro hombre de la misma raza.

b.- Metodología, ADN

El ADN extraído de los glóbulos blancos de la sangre o linfocitos y se recopilan usando HINF I Restriction Endonuclease, (prueba inventada en New England Biolabs en Beverly, Massachusetts).

Duplicando las muestras del ADN restringido fueron tratados con electroforesis en forma separada en geles de agarosa por aproximadamente 20 horas.

La marca de LAMDA HIND III fue usada para monitorear la migración, (Esta prueba fue inventada en Bethesda Research Laboratories en Bethesda, Maryland).

El ADN usado aislado fue desnaturalizado y transferido por una técnica de mancha Southern (Southern Blot), a una membrana nylon.

La preparación de la sonda y las condiciones de hibridización se hicieron como ya antes han sido descritas, siguiendo la hibridización con fósforo (³²), marcando radioactivamente. d-Guanosina trifosfato (dGTP), (prueba inventada en New England Nuclear/Du Pont en Boston, Massachusetts), estas sonda de varios locus son las 33.6 y 33.15 y después la membrana se puso en contacto con una película de rayos X por un periodo suficiente para permitir la impresión de una auto radiografía. (prueba que se hace en Lighting Screens, Du Pont, Boston, Massachusetts).

c.- Interpretación de la autorradiografía.

Usando ambas sondas: la 33.6 y la 33.15 de varios locus, produce dos coágulos de huellas de ADN, consistentes en aproximadamente 15 a 20

bandas transformadas de 3 a 12 kilobases (kb) y de 3 a 25 kb de peso molecular fluctuante, respectivamente.

Las muestras son cargadas en gel, así que el modelo o patrón del ADN del niño está entre la madre y el supuesto padre. Puesto que la mitad del ADN del niño es de cada padre, todas las bandas que no procedan de la madre y que están presentes en el niño, deben provenir del padre.

d.- Resultados.

Las autorradiografías obtenidas en dos tríos madre/hijo/supuesto padre, se muestran en la figura 1.

Todas las bandas en el ADN del niño son aparejadas con las bandas de la madre y del supuesto padre, indicando que el supuesto padre sí es el padre biológico del niño.

En el otro caso, existen claramente un número de bandas no maternas en la huella del ADN del niño que no son aparejadas, que no se acoplan con las bandas del supuesto padre, que indican que de él no es la paternidad.

En 28 casos de paternidad disputada, las pruebas que se usaron fueron hechas con el sistema de antígenos de seis glóbulos rojos o hematíes (RBC)

acopladas o aparejadas con un antígeno linfático HLA, haciendo pruebas a la madre, al hijo y al supuesto padre.

Posteriormente, las muestras fueron examinadas usando la prueba de la huella genética en el ADN, con el método Jeffreys 33.6 y 33.15 y en 27 de los 28 casos de paternidad disputado, la prueba sobre el ADN aportó elementos suficientes para fortalecer el resultado de las otras pruebas y que sirvieron para resolver en forma concluyente, los casos de paternidad disputada.

Existe una discrepancia entre los métodos convencionales en sueros y el análisis del ADN.

Tradicionalmente, para establecer la paternidad han sido usadas las pruebas con el sistema de marcas genéticas por polimorfismos múltiples, tales como los antígenos de los glóbulos rojos o hematíes (RBC) y antígenos de linfocitos humanos (HLA).

El uso combinado de RBC y HLA tienen una importante capacidad de exclusión (esto es, la probabilidad de excluir al que no es el padre), en un aproximado de 91 a 97 por ciento.

Aunque los resultados de las pruebas tradicionales pueden excluir a un supuesto padre, estas pruebas solamente pueden dar un estimado estadístico de exclusión de paternidad.

En cambio, los análisis de la huella genética en el ADN cuando se hace con una restricción de endonucleasís y dos sondas de varios locus de ADN, mismas que fueron desarrolladas por Jeffreys y Gill, permiten el examen directo del ADN humano en la forma del modelo de bandas específicas individuales, que es determinada genéticamente.

El poder de estas sondas para detectar regiones hipervariables múltiples contenidas en un ADN individual sirven para que las pruebas de paternidad permitan excluir al que no es el padre biológico (excepto en el caso de gemelos idénticos, debido a que ambos llevan el mismo código genético), para un caso de paternidad disputada.

Haremos enseguida, un estudio comparativo entre los métodos tradicionales en suero y la prueba de la huella del ADN para evaluar la paternidad.

e.- Pruebas de antisuero.

En los 28 casos de paternidad, se recogieron muestras de sangre de los tres: la madre, el hijo y el supuesto padre y fueron analizados usando el sistema de seis RBC y HLA.

Se llevaron a cabo pruebas de aglutinación de células para los grupos de sangre ABO, Rh, MNSs, Kell, Duffy usando los métodos estándares de sueros.

Los tipos de suero de posición 16-A y posición 31-B (16-A locus) y 31-B locus de antígenos HLA fue llevado a cabo usando la prueba de microlinfocitosis estándar, con antisuero.

f.- Los análisis ADN.

La prueba de la huella genética contenida en el ADN en todos los casos de paternidad, fueron llevados a cabo en Cellmark Diagnostics basándose esencialmente en el método de Jeffreys, ya antes mencionado.

El ADN fue extraído de 700 ml. a partes alícuotas de toda la sangre, con fenol/cloroformo, después de lo cual fue precipitado usando etanol. Una cantidad del rango de 1 a 10 ug. de ADN fue asimilado con Hinf I de restricción endonuclear y los fragmentos de ADN resultantes fueron cortados usando un gel de agarosa por medio de electroforesis o dos geles separados.

Los fragmentos de ADN fueron transferidos por un secante de Southern a una membrana nylon. (Southern Blot)

Las pruebas fueron preparadas de los minisatélites humanos (33.6 y 33.15) y preparadas con fósforo 32 (^{32}P), d-Guanosina trifosfato (dGTP), usando un compendio específico por una modificación del método de Weinberg y Volgenstein.

La condición de hibridación fue una modificación de esos usados por Jeffreys y el modelo de ADN se hizo visible por medio de una autorradiografía, método usado por Lightening Sceens Du Pont de Boston, Massachusetts.

Esos resultados fueron analizados simultáneamente, comparando las bandas del modelo de ADN de la madre el hijo y el supuesto padre, en cada autorradiografía.

Fueron calificadas por medio de sondas 33.6 y el peso molecular (Mw) alineada de 3 a 12 kilobases (Kb) así como todas las bandas con peso molecular MW entre 3 y 25 Kb.

En el patrón de la huella de ADN del niño, se identificaron las bandas maternas. Las bandas restantes debían coincidir con las del padre biológico. El análisis determinó que no eran del supuesto padre (AF) compartió las bandas paternas en el patrón de bandas del niño.

Cuando los modelos de bandas compartidas que se observan entre el supuesto padre y el hijo son iguales, la paternidad es innegable.

Si el supuesto padre no comparte la mayoría de las bandas paternas con el niño, se le excluye como padre biológico.

Se observó además, un pequeño número de bandas sin señalar, (que no hace pareja con las del padre ni de la madre) entre un niño y su verdadero padre biológico. Como es esperado en estos casos, se debe a la mutación que ha sufrido el código del hijo en esas regiones hipervariables.

Las bandas del modelo de ADN resultantes de cada prueba de varios locus, fueron analizadas independientemente y servirán como una señal en cada uno.

La posibilidad de que un individuo no emparentado comparta el mismo número de bandas con el niño, como si fuera su verdadero padre biológico, han sido determinadas del 0.25^n , en donde la frecuencia de las bandas compartidas con el extraño, es igual a 0.25 y la n , igual al número de bandas paternas compartidas con el supuesto padre.

Los cálculos también toman en cuenta la probabilidad de una banda no señalada, que haya resultado de una mutación, basada en porcentaje de mutaciones determinadas por Jeffreys y su equipo.

g.- Resultados.

Como se muestra en el cuadro número de los 28 casos que se analizaron, la combinación del antígeno de glóbulos rojos y el análisis HLA, podría no excluirse la paternidad de 19 casos. En estos casos, fue calculada una probabilidad de la valuación de la paternidad.

Estas probabilidades son del rango de 94.0 a 99.9 por ciento, asumiendo un 0.5 de una probabilidad previa. En 4 de los 19 (21%) con inclusión y se necesitaron pruebas adicionales para enzimas de glóbulos rojos y marcas de proteínas de suero, para alcanzar una probabilidad igual o mayor al 95 por ciento en una evaluación de paternidad.

Los análisis sobre la huella del ADN establecieron la paternidad en forma contundente, en los mismo 19 casos.

Usando ambas pruebas de ADN las 33.6 y 33.15, el número de bandas que fueron compartidas entre un niño y el supuesto padre, a cuya paternidad ha sido asignada el rango de 12 a 29, con un valor promedio de 20, como se muestra en el cuadro.

Estadísticamente la posibilidad de que un niño comparte 20 bandas con un hombre que no es su padre biológico, es aproximadamente de uno en un trillón.

La misma posibilidad calculada para el caso de 20 bandas compartidas y una banda mutante mal aparejada, es de uno en 6.8×10^{10} .

Se excluyó la paternidad en 8 de 28 casos combinando el antígeno de glóbulos rojos y el análisis HLA. La exclusión directa fue observada en el sistema HLA para 8 casos.

En 3 de los casos, la exclusión fue también obtenida con uno o dos sistemas de antígenos de glóbulos rojos. El análisis del modelo contenido en la huella del ADN que no puede ser asignada a la madre o al supuesto padre, está en un rango de 5 a 17, con un valor promedio de 10 .

En un caso, se logró la exclusión combinando el antígeno de los glóbulos rojos y el análisis de HLA, mientras que la paternidad fue establecida para el mismo caso con la prueba de la huella del ADN.

Se hizo una investigación que indica que sólo podría ocurrir una identificación errónea, al transferir las muestras entre dos laboratorios y el único camino para resolver esta discrepancia, que se debería a errores humanos, es repitiendo la prueba.

h.- Conclusión.

La prueba de la paternidad usando la huella de la marca genética múltiple, es bien conocida en Estados Unidos entre las comunidades médica y jurídica.

El uso combinado de RCB y HLA, puede alcanzar un promedio de exclusión de 91 a 93 por ciento. Sin embargo, tales resultados son solamente de exclusión, la prueba tradicional de suero está sujeta a limitaciones en los casos en los que el supuesto padre no puede ser excluido directamente. El hecho de que todavía existe una posibilidad para que un hombre desconocido entre la población, posea la misma marca de fenotipo que el verdadero padre biológico, significa que no es posible probar la paternidad positivamente, sin tomar en cuenta el número de marcas genéticas examinadas.

Adam J. Chimera hace notar que existe un número importante de casos en los cuales la paternidad queda muy baja, aun después de las pruebas extensivas de la disponibilidad de marcas polimórficas suficientes, pero resolver estos casos ambiguos se ha vuelto problemático.

La utilidad de las pruebas de varios locus 33.15 para establecer la paternidad, descansa en su habilidad para detectar simultáneamente muy altas variables genéticas localizadas en el ADN humano.

Este poder discriminatorio, aunado con el hecho de que los fragmentos de ADN detectados por Mendel, permite la exclusión del que no es el padre biológico (excepto en gemelos idénticos), como ya antes habíamos asentado.

El propósito del presente estudio fue comparar los resultados de las pruebas de paternidad por métodos convencionales, tales como el antígeno de los glóbulos rojos y la tipificación HLA, como resultados obtenidos de la prueba de la huella genética en el ADN en 28 casos de paternidad disputada.

En 27 de los 28 casos, la prueba o huella de ADN sustenta los resultados obtenidos por el tradicional grupo fenotípico de sangre.

En 8 de los 28 casos, el supuesto padre fue excluido por ambas pruebas convencionales y la prueba de la huella en el ADN.

En 19 casos, el supuesto padre no fue excluido por métodos convencionales y una probable paternidad fue calculada usando la técnica estándar Bayesian.

Aunque los resultados provenientes de los análisis de ADN están de acuerdo con los encontrados, las probabilidades clásicas de evaluación de la paternidad no son necesarios cuando se usa la técnica de la huella del ADN.

Puesto que los métodos estándar han sido criticados estadística y jurídicamente, la captación de la prueba de la huella del ADN para eliminar con estos métodos (particularmente de la anterior suposición), es una gran ventaja.

Aparte de su especificidad, la prueba de la huella genética del ADN tiene muchas otras ventajas, esta prueba da más poder de exclusividad que el antígeno de los seis hematíes y la prueba del antígeno del linfocito humano, combinados. Además, los resultados del ADN pueden ser obtenidos de muestras muy pequeñas.

La molécula de ADN es muy estable y a menudo puede ser probada de una muestra que ya tenga meses o hasta años.

De ser necesario, se podrían hacer varios análisis de un solo ensayo conteniendo sangre. El hecho de que se necesita sólo una pequeña muestra para esta prueba, facilita también el establecimiento de la paternidad, en recién nacidos, con muestras suficientes de sangre para hacer pruebas, que pueden ser obtenidas por un simple Hell Stick.

La capacidad para establecer la paternidad, sin tener que calcular el valor estándar de la probabilidad de paternidad, significa que las pruebas genéticas suplementarias podrían no ser llevadas a cabo, como sucede cuando las estadísticas incluidas, caen bajo los estándares judiciales. Esto ocurre en 4 de los 28 casos (4 de los 19 incluidos), en este estudio.

Los estudios indican que la huella en el ADN usada en las pruebas 33.6 y 33.15 es tan confiable como la prueba de paternidad comúnmente aceptada hecha con sueros (Serological) y es capaz de resolver los casos de paternidad disputada.

B.- Identificación de hijos póstumos.

La huella del ADN ha sido usada para establecer la paternidad, aún en instancias en donde el padre reputado, había muerto.

En los casos de una herencia o los beneficios de un seguro de vida, es posible hacer esta prueba para determinar la paternidad.

Para llevar a cabo la prueba, se deben preservar las muestras de la necropsia, para poder ser usadas con este fin.

En ciertos casos, si las muestras son viables, la huella del ADN del supuesto padre, pueden ser reconstruidas usando muestras de otros parientes cercanos.

En tales casos, el grado de certeza dependerá de la cantidad de parientes que se encuentren disponibles para hacer las pruebas.

Por ejemplo, las muestras de ambos padres podrían permitir determinar la paternidad, prácticamente, con la misma certeza que si se tratara del ADN del padre.

Las bandas generadas por la SLPs, son heredadas de acuerdo al modelo Mendeleano (mitad de la madre y mitad del padre). Sin embargo, las SLPs no están siendo usadas para pruebas de paternidad en forma exclusiva debido a que no pueden determinar con la misma certeza que las sonda de varios locus.

Otras pruebas de laboratorio usadas para determinar la paternidad, se apoyan en las SLPs como pruebas adicionales a las tradicionales.

Sin embargo, estas pruebas no son exactas, como lo son las basadas en la huella genética contenida en el ADN.

Las mutaciones pueden también alterar los modelos de bandas paternas esperadas, detectadas por SLPs en la progenie, debido a que hay únicamente un punto de comparación entre padre y un niño con cada SLPs, la mutación de uno de estos puntos, puede causar una falsa interpretación de los resultados.

C.- El ADN y las pruebas de paternidad en las cortes norteamericanas.

El Bureau Of National Affairs, Inc. en su Monografía número 2, volumen 15, número 28 del 16 de mayo de 1989, editada en Washington, D.C., publica un informe sobre el estado de la técnica en evidencias conclusivas sobre paternidad, escrito por David B. Jackson, en la cual da a conocer que durante el curso del año de 1988, la tecnología conocida como ADB Fingerprints, ha sido sujeto de la atención de los medios de comunicación.

En varios periódicos y revistas aparecieron artículos enfocados principalmente, sobre uso de la técnica como una herramienta pericial en casos de ilícitos penales. Existen muchas convicciones en casos en los cuales ha sido usado el ADN, debido a que las cortes en estos casos criminales, han considerado que esta evidencia es admisible debido a "La general aceptación que ha tenido en la comunidad científica estandar de Frye v. U.S. 293 F 1013 (CA DC 1923) o de alguna otra aproximación". A menos una corte de apelaciones ha reglamentado ya su admisión en el proceso: En Andrew v. Florida, 533 So2d 841, 15 FLR 1057 (Fla CtApp 5thDist 1988), la corte apoyó la admisión del ADN como evidencia en un juicio sobre violación.

En este caso la corte declinó el uso de la prueba Frye, prefiriendo en su lugar, una "aproximación relevante".

En el área de pruebas de paternidad, la técnica también ha sido usada extensamente y se han reportado muchos casos que han sido resueltos sin juicio, con base en las pruebas de AB.

Sin embargo, pocas cortes están hablando directamente sobre el uso de esta nueva técnica, en casos de paternidad.

Una decisión reciente de una corte en Nueva York, tomó como aceptable este método de prueba, pero con pequeñas discusiones en el método y principalmente, sobre las bases del principio de que en el estatuto está permitida expresamente la PRUEBA DE GRUPOS SANGUINEOS. Decisión que se tomó en el caso *In Re Baby Girl S.*, NYS2d, FLR 1504 9ny SurrCt NYcty 1988).

En el caso de la decisión tomada con referencia a un crimen cometido en la ciudad de Nueva York, *Now York Vs. Wesley*, 533 NYS2d 643 9NY Country Ct Albany Cty 1988), en el cual la corte admitió la prueba de ADN sobre la base de ser "Generalmente aceptada en la comunidad científica", presentando un sumario detallado de la prueba técnica y su confiabilidad de acuerdo a la estadística.

Es inevitable que más cortes deberán confrontar la disyuntiva de aceptar los resultados de las pruebas de ADN y por lo tanto, es crucial que tanto las cortes como los abogados postulantes, así como las partes involucradas en

tales casos, se encuentren capacitados para entender los principios básicos bajo los cuales se funda esta técnica.

El punto de vista del autor del artículo, es que la técnica podría ser usada prefiriéndola a otras pruebas de sangre o por lo menos, en conjunción con ellas, tratándose de casos de paternidad, porque facilita la determinación del resultado.

Con este artículo se trata de dar a conocer el uso de la técnica en las cortes americanas en pruebas de paternidad y en casos de ilícitos.

La empresa Cellmark Diagnostics de Germantown, Md., es una de las dos que a nivel nacional llevan a cabo los análisis sobre el ADN. La otra, es Lifecodes Corp., de Valhalla, N.Y. USA una técnica ligeramente diferente de sondas y llama a su procedimiento "ADN PRINT"; existe otro método desarrollado por Cetus Corp. de Emerville. Calif., sin embargo, este método que usa un procedimiento de ampliación de genes conocido como Polymerase Chain Reaction, es fundamentalmente diferente a las técnicas discutidas en esta monografía.

En casos de paternidad, Cellmark usa dos pruebas de varios locus para incrementar la probabilidad de que las bases se acoplen y formen parejas.

Lifecodes Corp., usa sonda de un locus SLPs, que detectan repetidas secuencias básicas que toman en cuenta la longitud de las repeticiones, las cuales varían de persona a persona pero que sólo ocurren en un sitio determinado dentro de una sola cromosoma.

Estas secuencias (VNTRs) pueden ser identificadas mediante el uso de sondas que casan o hacen pareja con sus secuencias bases. Sin embargo, sólo produce una o dos barras en un modelo.

La técnica de sonda de un locus es considerada más apropiada que la de varios locus, cuando se usa con propósitos forenses, cuando la identidad de un sospechoso está en discusión y se comparan LAS muestras provenientes de la escena del crimen con las del sospechoso.

Cellmark también usa el método MLPs en aplicaciones forenses, pero debido a que las bandas son más pequeñas se consideran más endebles en lo que se refiere a los casos de paternidad.

Además, una mutación en el ADN de una persona puede causar que la sonda falle al tratar de reconocer a su VNTR complementario.

Sin embargo, estos problemas pueden ser remediados, hasta cierto punto, haciendo las pruebas más extensas por medio de muestras hibridizadas de ADN en varias sondas VNTR, diferentes.

Si se lleva a cabo un patrón de barras del niño y el padre putativo, por medio de tres o cuatro sondas VNTR, se llega a una mayor precisión.

Después que se ha completado el proceso, hay con el modelo de barras para la madre, el niño y el supuesto padre.

En el caso de las pruebas de Cellmark, con al menos 15 bandas por persona, son generalmente aprovechables para hacer la comparación.

La madre y el niño deben compartir aproximadamente la mitad de esas bandas.

Las otras bandas del niño deben hacer pareja (en posición e intensidad) con las del padre.

Después que el ADN ha sido analizado, el laboratorio (que ha seguido estrictamente el procedimiento de cadena de custodia, que se describe en el instructivo de recabar y enviar las muestras), explica el número de parejas que existen entre el patrón de bandas del padre y del niño, y da una conclusión de que es o no el padre biológico.

Si no existen parejas, obviamente la conclusión será que el niño no está emparentado con el supuesto padre.

Por supuesto, es mejor entre más parejas se forman, pero en la práctica (de acuerdo a Cellmark), se acoplan uno a uno o no lo hacen ninguno.

Ocasionalmente, como resultado de las mutaciones naturales, pueden aparecer una o dos bandas no asignadas a ninguno de los padres, sin embargo, el uso de dos sondas separadas, sirven para llegar a una conclusión exacta.

Algunas veces pueden aparecer tres bandas no asignadas, pero ninguna más de tres.

En Lifecodes la prueba "DNA Print" el patrón mostrará por cada sonda usada, una o dos bandas por persona.

Además, una de las bandas de la madre podrían casar o aparejarse con el del supuesto padre, si es él realmente el padre.

El gran rasgo distintivo de este tipo de pruebas, para aquel que sabe que ha sido acusado indebidamente de ser el padre del niño, es el de saber que será excluido sin lugar a dudas, pues con ellas se puede establecer con total certeza que él no es el padre biológico.

Aunque algunos supuestos padres pueden ser excluidos con las tradicionales muestras de sangre, el análisis del ADN-RFLP puede excluir a los supuestos padres que no fueron excluidos por otros medios.

En el largo de la huella de ADN descansa su utilidad para revelar que un niño tiene o no los mismos alelos que el padre putativo.

Los mismos minisatélites en RFLP del mismo tamaño en el método Cellmark o el mismo RFLP en relación con las posiciones de sus genes VNTR, en el procedimiento de Lifecodes.

Una pregunta que se hace con frecuencia es ¿Qué tan probable es que dos personas compartan el mismo modelo de bandas? y en el caso de paternidad, ¿Qué probabilidades existen de que la mitad de las bandas de una persona no emparentada, casen con la de un niño?.

Los científicos que desarrollaron esta prueba para Cellmark y los de Lifecodes, han conducido estudios sobre estadísticas de probabilidades de incidencias repetidas de modelos de barras, derivadas de los RFLP y sondas usadas en la técnica, con objeto de responder a esta pregunta.

La empresa Cellmark aplicó sus pruebas de minisatélites en 20 caucásicos no emparentados entre sí y Jeffreys Wilson y Thien reportaron que la probabilidad de que los fragmentos detectados a través de una prueba

específica, conocida como sondas 33.15, que se encuentran presentes en un individuo A, estén también presentes en un individuo B, es de 3×10^{-11} , lo que significa, de una en 30 billones.

Ellos concluyeron que la probabilidad de que una paternidad equivocada no sea detectada, por ejemplo, que el supuesto padre por azar posea todos los fragmentos que hay en el patrón de barras del niño, que no sean de la madre, es sumamente bajo, de aproximadamente 5×10^{-5} . en el caso de que el padre putativo no esté emparentado con el verdadero padre, pero esta probabilidad se acrecienta en el caso contrario, es decir, cuando son parientes cercanos, hasta en un 2^{-6} (0.016).

Si se usa una sonda adicional, estas probabilidades de que se concretizará en las pruebas una paternidad incorrecta, son aún más remotas.

El uso de las sondas 33.15 y 33.6, que usa Cellmark, reduce las posibilidades aproximadamente 4×10^{-8} y 8×14^{-4} m (0 0.0008 respectivamente), las probabilidades precisadas dependerán de la resolución exacta y la complejidad de los patrones de ADN obtenidos.

El reporte concluye que "en una vasta mayoría de casos, el uso combinado de la sondas 33.6 y 33.15, serán suficientes para eliminar los casos de paternidad incorrectos.

Un interesante corolario es aquel que indica que estas pruebas de huella de ADN, pueden ser usadas con un altísimo nivel de confiabilidad para establecer el verdadero parentesco biológico".(43)

La opinión de Wesley del caso citado anteriormente, (Nueva York vs. Wesley), fue en el sentido de hacer notar que los científicos de Lifecodes han manejado 900 pruebas de personas no emparentadas, subdivididas en tres grupos étnicos (americanos, negros, caucásicos e hispanos), y establece que "... la frecuencia de la distribución de los alelos (genes) fue determinada por cada grupo para cada ubicación. Utilizando las matemáticas de casualidades y probabilidades, con respecto a los grupos étnicos de americanos negros y caucásicos, separadamente, el poder de identificación personal (frecuencia de alelos) por cada uno de los cuatro "loci" o sondas que se usan normalmente por Lifecodes en sus "ADN *Print Identification Test*", fueron multiplicados para llegar a un promedio combinado de identidad para las cuatro sondas en relación con los negros americanos de uno entre 1.4 billones y para el caso de los caucásicos (blancos americanos), es de uno en 840 millones 2.533 NYS2d at 656".

Estos datos están basados en un artículo de M. Baird titulado *Human Population Genetic Studies of Five Hypervariable DNA Loci*, sometido a la consideración del *American Journal of Human Genetics* en mayo de 1988.

(43) Cfr. Jeffreys, Wilson y Thien, *Individual Specific "Fingerprints" of Human DNA*, *Revista Naturate* 316, 1985 pp. 76-78.

La corte Wesley redujo esta proporción según un factor de 10, para eliminar algún posible desequilibrio Hardy-Weinberg.

El teorema de Hardy-Weinberg, que es un concepto de expresión matemática en la genética de la población, postula que: La frecuencia de los genes permanecen constantes de generación en generación, dentro de una población, a menos que fuerzas externas actúen para cambiarla, durante tanto tiempo como permanezcan fortuitamente como una matriz que produce esterotipos.

... Cuando la frecuencia observada de los genes de una población es desviada de la frecuencia que es esperada en los genes, cuando la población está en el equilibrio Hardy Weinberg, entonces este equilibrio se dice que no ha sido alcanzado. Esto es un indicador de que ninguna fuerza accidental ha intervenido, perjudicando la ley de probabilidades... Si la desviación fuere pequeña, la consideramos insignificante. (*)

En relación a esto la corte concluyó:

"La evidencia en esta audiencia y debido proceso, requiere que en estos dos juicios, sea permitida, para afirmar un poder de identidad limitado, tomando como base que el promedio es de uno en 140 millones de negros y uno en 84 millones de caucásicos. (**)

(*) Idem o.659 Se omitió el pie de página en el original.

(**) Ibidem pp. 656-657.

Algunos artículos publicados en los Estados Unidos recientemente, han logrado atraer la atención hacia los inconvenientes del proceso de la huella de ADN, en particular las estadísticas. Sin embargo, lo que ahí aparece no son estudios científicos.

Por supuesto que en el área forense las muestras pueden sufrir deterioros y por lo tanto, las pruebas pueden producir resultados no concluyentes, lo único que debe hacerse es volver a tomar las muestras de sangre y volver a realizar las pruebas.

Los procedimientos ideados por las dos empresas de que ha venido hablando, Cellmark y Lifecodes, incluyen un extremadamente cuidadoso control de calidad y métodos monitoreados, ya que no desean tomar riesgo alguno que pudiera dañar la reputación de sus pruebas, por lo tanto, tampoco autorizan a usar sus procedimientos estándares, que son tan estrictos, a cualquier laboratorio.

Realmente, las técnicas usadas en las pruebas de ADN son de tal calidad, que los resultados falsos son altamente improbables.

Este punto fue fuertemente discutido en un caso reciente de muerte en Nueva York, Nueva York vs. Castro, 15 FLR 1326 (SupCt Bronx City), en el cual la corte sostuvo que un análisis de ADN no fue rendido en forma admisible porque no pudo ser establecido con precisión, cuando o por cuanto tiempo el

análisis había sido desarrollado. La carencia de tal información no interfirió con la interpretación de la prueba, explicó la corte.

En este caso ocurrido en 1989, el Juez Gerald Sheindlin rechazó las pruebas de ADN, que ya se habían empleado para obtener convicción en juicios anteriores, al poner en duda la eficacia y la presumible infalibilidad de la prueba.

Al menos que los datos estadísticos, los cuales continúan siendo perfeccionados llegaren a demostrar que no son confiables, parecería que los análisis de ADN-RFLP serán eventualmente establecidos, como fueron las pruebas de sangre HLA antes que ellos, como el método primordial de pruebas de paternidad.

Dado el alto grado de confiabilidad, la huella del ADN será, como ya ha sido ampliamente reconocido por las cortes norteamericanas e inglesas, como de gran valor para establecer paternidades, que sirven para obligar a los padres a dar alimentos.

Más aún, la confiabilidad de los resultados de las pruebas pueden servir para acortar el tiempo en las cortes, debido a que su contundencia en casos de paternidad evitará la necesidad de un juicio prolongado.

La técnica puede también ayudar a los padres así como a los niños nacidos fuera de matrimonio, para afirmar sus derechos de parentesco y a vencer presunciones anticuadas pasadas de moda que han sobrevivido durante un largo tiempo, debido a lo inexacto de los métodos antiguos de prueba.

El costo de los análisis del ADN es ligeramente más alto que los otros usados en casos de paternidades disputadas, Cellmark generalmente cobra 200 dólares por muestra (150 por muestra Title IV-D y otros procedimientos similares), y Lifecodes cobra 150 dólares por muestra.

Un precio de 450 a 600 dólares para resolver un litigio sobre paternidad, no creemos pueda considerarse caro, ya que el resultado va a ahorrar muchísimo dinero que de otra manera deberá gastarse en hacer las pruebas que tradicionalmente se han usado para este tipo de litigio y que además, no son concluyentes.

La mayoría de los casos de paternidad en los cuales la huella de ADN se ha usado, se han resuelto sin necesidad de un juicio, lo cual ahorra mucho tiempo y dinero.

Por lo anteriormente apuntado, podemos decir que los casos de paternidad pueden ser, por fin, resueltos con toda certeza.

Dada la confiabilidad y certeza que el ADN ofrece, parece innecesario usar otras formas de pruebas de paternidad, o depender de pruebas anticuadas, siempre que haya sangre para muestras de las personas involucradas.

La falta de apelación de las decisiones que se han tomado en relación con esta técnica puede hacer que algunas personas sean cautelosas en su uso, para casos en los cuales se encuentren involucrados, sin embargo, deberían tomar en cuenta que una razón para la falta de tales apelaciones, se debe a la efectividad de la misma, la aceptación de los resultados quiere decir frecuentemente, que la paternidad nunca será llevada a juicio, pues se resolverá antes.

Sin embargo, sería muy conveniente que estos asuntos se ventilaran ante las cortes, con objeto de que se discutieran ampliamente los pros y los contras de la técnica, con objeto de que su difusión permita mayor conocimiento de la misma en el medio jurídico.

4.- Las pruebas de ADN en el Derecho Penal.

A.- En casos de identificación de cadáveres en descomposición.

En el mes de febrero de 1988 fue encontrado el cadáver de una mujer, víctima de un homicidio, que se encontraba en parque de los suburbios de la

ciudad de Seattle en el Estado Norteamericano de Washington. El cuerpo se encontraba en un moderado estado de descomposición y había sido roído por animales.

El intervalo postmortem, basado en la apariencia del cadáver, fue estimado en varios días y hasta dos semanas.

La temperatura ambiente era de 9°C ; la temperatura del suelo y la interna del cadáver era equivalente a 6°C.

El cuerpo había sido roído por las ratas. El examen postmortem reveló cuatro orificios de bala: tres en la cabeza y uno en el cuello. Su muerte fue atribuida a los disparos de arma de fuego.

Los métodos rutinarios de identificación, tales como las huellas digitales y comparaciones por medio de rayos X, para establecer la identidad comparándola con las de las personas reportadas como desaparecidas, no pudieron ser utilizados.

En respuesta a un retrato hablado de la víctima en los medios de comunicación, una tentativa de identificación fue hecha por los miembros de una familia.

La confirmación visual de su identidad no fue posible, debido al estado de descomposición.

Los esfuerzos que se hicieron para obtener las huellas digitales latentes de objetos que la occisa utilizó durante su vida, fallaron. Tampoco existían rayos X de la dentadura o algún otro hueso de la desaparecida, que sirviera para establecer su identidad.

Se tomó la decisión de usar las marcas genéticas para su identificación, se trató de localizar en su cepillo del pelo algunos cabellos con raíz o suficiente cabello sin raíz para poder hacerle un análisis del material celular, sin lograrlo.

La única forma de identificarla fue a través de un examen de las muestras de sangre de su padre y su madre para compararlas con la muestra obtenida de la sangre y un músculo de la occisa que se envió a Lifecodes Corporation en la ciudad de Nueva York para hacerle el análisis de ADN.

a.- Métodos y materiales usados.

A partir de su descubrimiento, el cadáver fue refrigerado a 3°C. Una muestra de sangre del cadáver fue recogida en fluoruro de sodio cuando se le hizo la necropsia y se refrigeró.

Una muestra del músculo psoas y el tercer molar se obtuvieron casi tres meses después y fueron enviadas a Lifecodes Corporation en Nueva York para su análisis.

Después el ADN fue aislado con éxito de las muestra de piel y sangre de los padres putativos y se conservó en ácido etilenediaminetetraacético (EDTA) y enviado para su análisis.

En Lifecodes Co. el ADN fue aislado del músculo y las sangre de la occisa y concentrado con restricción endonuclear y los patrones o modelos genéticos se desarrollaron usando cuatro posiciones diferentes de un gene: D2S44, D17S79, DXYS14 y D14S1 y la posición del cromosoma Y DYZ1.

b.- Resultados.

De las muestras de sangre y músculo de la víctima, se logró aislar suficiente peso molecular de ADN. El tamaño de los alelos fragmentados detectados en cada posición, como fue reportado por la empresa, se muestra en el cuadro.

Los estudios hechos a la familia habían mostrado que los alelos segregados estaban de acuerdo a la ley de la herencia de Mendel, además los tamaños de los alelos y la agrupación de los mismos, varía significativamente entre los diferentes grupos étnicos.

Basado en esas observaciones previas, el índice maternal y paternal para cada posición puede ser determinada.

Cada posición excluirá a un cierto porcentaje de la población a la cual pertenecen los padres biológicos. En el ejemplo de esta supuesta madre, la probabilidad de determinar su maternidad usando la combinación de las cuatro posiciones genéticas es mayor de 99.9%.

En el caso del padre putativo, éste debe tener presente en su patrón o modelo todos los fragmentos de su hija, que están ausentes en el modelo de la madre, pues unidos estos dos patrones, forman el patrón que contiene el código genético de su progenie, aunque no es exacto para cada hijo.

En la identificación del cadáver que nos ocupa, se llegó a la conclusión de que la víctima, no era su hija, debido a que al padre putativo se le excluyó como su padre biológico, debido a que su patrón genético carece de todos los fragmentos de la víctima que no pertenecieron a la madre.

Este reportaje ilustra la aplicación del ADN para identificación de restos humanos descompuestos.

Recientemente en la legislación de California, Colorado y Washington ha traído a discusión muchas cuestiones prácticas en el uso del ADN.

La disponibilidad de la tecnología usada en el ADN para la ciencia forense está limitada hasta la presente a unas cuantas compañías comerciales en los Estados Unidos y no es todavía, parte del repertorio convencional de los laboratorios periciales.

Estas compañías usan cada una pruebas, diferentes y no han estandarizado sus métodos de comparación.

La admisión de esta prueba en las cortes de Estados Unidos es todavía materia de discusión de cada caso en especial.

Además el costo de la técnica es hasta ahora un problema.

Sin embargo, aun en estas tempranas etapas de su aplicación, el ADN ha sido anunciado como el mayor progreso para la biología forense. En la ciencia forense tiene principalmente dos aplicaciones: la identificación y la paternidad disputada.

Algunas de esas identificaciones se podrían apoyar, si existieran bancos de datos de huellas de ADN, por ejemplo, de los sospechosos de violación, tal y como existen ahora bancos de datos de huellas digitales.

La aplicación de la huella del ADN en el medio pericial, generalmente se utiliza para comparación de marcas presentes o ausentes en sospechosos o víctimas de delitos, así como en la paternidad disputada o una violación.

La huella del ADN ha resultado muy prometedora en el análisis de manchas de sangre, semen y cabellos. La reacción de las cadenas de polimerase de ADN se pueden usar para amplificar el ADN cuando es

cuantitativamente insuficiente para el variable número de análisis de filas repetidas de fragmentos restrictivos polimórficos (VNTR-RFLP).

La identificación se puede facilitar a través de la comparación de la sangre de los parientes, hasta ahora legalmente se ha aceptado que se puede obtener una probabilidad de paternidad o maternidad de huellas convencionales tales como un antígeno de leucocito humano (HLA) y ADN.

La contaminación bacteriana no afecta la hibridización cuando se usan sondas humanas.

La degradación de los restos es mayor cuando hay humedad, es más fácil que se preserven en lugares secos.⁽⁴⁴⁾

c.- Conclusión.

La identificación de individuos desaparecidos es un proceso de dos partes primero, se debe establecer la información con el objeto de llegar a una posible identificación. Segundo, la identificación hipotética debe ser confirmada.

⁽⁴⁴⁾ Cfr. Baird, M., Balazs, I., Guisti, A., Miyazaki, L., Nicholas, L., et al., "Allele Frequency Distribution of Two Highly Polymorphic DNA Sequences in Three Ethnic Groups and Its Application to the Determination of Paternity," *American Journal of Human Genetics*, Vol. 39.

En ausencia de huellas digitales, o un registro dental o de rayos X de alguna parte del cuerpo, se debe usar otra técnica alternativa para identificar. La aplicación de la marca genética para hacer esta identificación, es una opción. (45)

B.- En caso de violación en incluida la tumultuaria.

Conociendo la aplicación que se perfila en el medio pericial, la prueba ha sido usada para ser acoplada en una forma concluyente, de una muestra biológica recogida del lugar del crimen con una obtenida del sospechoso.

Cuando se usa como una herramienta de prueba, sirve para fortalecer la evidencia que exista en la indagatoria. La prueba puede también ser usada para determinar la identidad de la víctima en casos en donde no existe otra forma de identificación.

Las bandas de ADN generadas de una muestra que se saca del sospechoso y si los patrones de las bandas hacen juego exactamente, entonces es virtualmente cierto que el acusado dejó esa evidencia en la escena del crimen.

(45) Cfr. Giusti, A., Baird M., Pasquale, S., Balazs, I. and Glassberg, J. "Application of DNA Polymorphisms to the Analysis of DNA Recovered from Semen." Journal of Forensic Sciences. Vol. 31. No. April 1986. pp. 409-417.

En aplicaciones forenses, las pruebas SLPs son usadas para la identificación de los especímenes, en la mayor parte de los casos.

Estas ofrecen otras ventajas, frecuentemente las evidencias recogidas por los peritos, contienen cantidades de ADN tan pequeñas que el MLPs no puede ser usado.

Las pruebas de SLPs son cerca de diez veces más sensitivas y permiten a los científicos obtener una banda del patrón de ADN de una cantidad tan pequeña como 20-50 nanogramos de muestra de ADN.

Una muestra de sangre o de semen del tamaño de la cabeza de un alfiler o la raíz de un solo cabello, puede ser todo lo que se necesite para hacer una identificación.

Esta prueba SLPs es inapreciable para cuando se trata de manchas mixtas, lo cual es altamente útil en los casos de violación múltiple o de muestras de sangre mezclada obtenidas en donde ocurrió el homicidio. En estos casos, la mezcla puede ser analizada primero con una sola SLPs para determinar cuantos individuos estuvieron involucrados en el delito.

Debido a que cada sonda produce un patrón de al menos, dos bandas por persona, un modelo obtenido de la mezcla conteniendo seis bandas, indicaría que las muestras son por los menos, de tres individuos. Haciendo

comparaciones subsecuentes del patrón de bandas del sospechoso con las que se obtuvieron de la mezcla, podrían confirmar la relación.

Una combinación de cuatro SDLP usada en una secuencia o un "Cocktail", podría acrecentar la precisión de la identificación.

No solamente sirven estas pruebas SLPs para hacer discriminaciones más precisas a las MLPs, sino que pueden ser usadas para cruzar información referente a las bandas presentes en el ARN patrón del ADN de los sospechosos que fueran preparadas usando las MLPs.

El uso combinado de dos tipos de sondas representan la óptima posibilidad existente en prueba de identificación para aplicaciones en el medio pericial.

El uso combinado de dos tipos de pruebas es lo óptimo en pruebas de identificación para aplicaciones forenses.

En casos de violación, el semen contenido en el espermatozoide puede ser usado para la identificación positiva de los sospechosos. Estas pueden ser acopladas aún si la muestra de semen está mezclada con la sangre u otros fluidos de la víctima.

Por lo anteriormente descrito, queda asentado que con la prueba de ADN es posible identificar a los sospechosos de una violación masiva, ya que con las sondas muy especializadas, se pueden obtener los diferentes patrones de todos los que hayan intervenido en la violación.

C.- En casos de homicidio.

El 21 de noviembre de 1983 en una población cercana a Leicester en Inglaterra, Lyda Rosamerie Mann fue violada y asesinada.

Se llevó a cabo una intensa investigación policiaca, de la cual lo único positivo fue que del cuerpo y ropa de la víctima se recavaron resto de semen, cuyas muestras fueron guardadas para investigaciones posteriores.

El 31 de julio de 1986 se encontró violada y muerta a Dawn Amanda Ashworth y debido a la forma en que sucedieron los hechos, la policía relacionó este segundo homicidio con el primero.

En esta ocasión, la policía hizo una intensa búsqueda, en tal forma que se obligó a todos los varones de entre ciertas edades y que vivían en un amplio radio de la escuela del crimen, a dar una muestra de sangre con el objeto de realizar un consejo de ADN.

Se solicitó al profesor Jeffreys que llevara a cabo el procedimiento con la técnica que él mismo había desarrollado y Richar Bountly, quien fuera el primer sospechoso, fue dejado en libertad debido a que su código genético no coincidió con las muestras de semen. Debido a las muestras de sangre que fueron analizadas, se descubrió que Colin Pitchpork era el culpable del homicidio de Dawn Ashworth y después de hacer la comparación con la muestra que se había guardado, del primer crimen, se observó la total coincidencia.

De esta forma, Colin, Pitchpork fue la primera persona en el mundo que fue condenada a prisión perpetua utilizando como prueba pericial, ante un jurado, los análisis basados en el código genético contenido en el ADN, en la memorable fecha para los anales de la investigación científica, de septiembre de 1987.⁽⁴⁶⁾

5.- La posible creación de un Banco de Datos de Huellas Genéticas en E.U.A.

La Office of Tecnology Assessment (O.T.A.) es una oficina del Congreso de Estados Unidos, cuya función básica consiste en auxiliar a los legisladores a anticiparse y planear el Derecho, en relación a los impactos positivos y negativos de las nuevas tecnologías.

(46) Cfr. Dabbs, D. and Comwell, P. D., "The Use of DNA Profiling in Linking Serial Murders". En: Médico-Legal Bulletin, Vol. 37, No. 6, noviembre-diciembre, 1988, pp. 2-10.

El reporte que esta oficina ha hecho sobre las pruebas de ADN, es que son sensitivas y precisas. Las bases científicas son sólidas y por lo tanto, su uso como prueba pericial es válido.

También encontró, que apropiadamente llevados a cabo, los exámenes de ADN son dignos de confianza. Bajo condiciones rutinarias de uso, los exámenes del ADN pueden ser reproducidos dentro de un laboratorio, a través de varios laboratorios y en manos de varios profesionales.

Existen serias dudas, sin embargo, acerca de como mejorar la seguridad y confiabilidad de los resultados de los exámenes. Estas dudas son utilizadas por los abogados defensores en las cortes, lo que obliga a subrayar la necesidad de establecer una técnica y procedimiento estandarizados.

El contorno del ADN ha sido rápidamente abarcado por los laboratorios periciales particulares, los abogados y las cortes.

Alrededor de tres cuartas partes de los 221 laboratorios periciales, respondieron a una encuesta sobre la situación de las pruebas de ADN que la O.T.A hizo en 1989, consideran que estas son muy importantes para poder cumplir con su trabajo y cerca de la mitad ha contratado ya este servicio de implementar este tipo de pruebas en un futuro inmediato.

Algunos expertos que proponen el eventual desarrollo de un banco de datos a nivel nacional, se oponen a que sea de ADN debido a que por el momento, consideran que su aplicación es prematura, ya que la tecnología se perfecciona actualmente con gran rapidez por lo tanto, esperan que ésta sea superada.

La mayoría de los que lo proponen reconocen la necesidad de incorporar esta técnica con flexibilidad, que permita que los expedientes puedan ponerse al día con técnicas mejoradas.

Dada la marcha tan acelerada del desarrollo tecnológico, predecir cual será el curso de los análisis de ADN en el medio forense, puede ser complicado.

Algunos de los expertos que se oponen a la creación del banco de datos computarizados de los perfiles de ADN, consideran que los pretendidos beneficios son sobrevalorados, si se tiene en cuenta la amenaza que significa para las libertades civiles.

Citan además, la inherente intimidad de la información genética, la capacidad de hacer pruebas para obtener información médica con propósitos diferentes a la identificación (conocimiento de algunas enfermedades) y las dificultades de mantener la confidencialidad en una red de computadoras.

Estos expertos también consideran que esa información genética podría ser usada para negar beneficios futuros a personas con antecedentes penales y por lo tanto, estos perfiles genéticos dentro de la esfera de la justicia penal, podría convertirse en una amenaza a la privacidad.

Sin embargo, la constitución del uso de los análisis de ADN en los Estados Unidos, está asegurada.

Una duda que no se refiere a las cuestiones científicas, se debe a que la presente tecnología puede detectar diferentes genéticas, con exactitud, entre los seres humanos, es decir, que existe el temor de que sea considerada racista.

Las técnicas del ADN recombinado continuarán siendo una poderosa arma para ayudar a aclarar la inocencia o culpabilidad de los indiciados.

Sin embargo, se tienen pensadas varias políticas de restricciones para ser usadas en el medio pericial.

Lo más urgente es establecer estándares para los análisis del ADN, que serán usados como prueba pericial y debe resolverse sin dilación.

Solamente existe un vago consenso sobre lo que es necesario de homogenizar en estas pruebas para hacerlas seguras como pruebas periciales.

Por nuestra parte, comentaríamos que efectivamente los análisis sobre el código genético sí hacen la diferenciación entre las razas, debido a que cada raza tiene características propias que determinan sus diferencias físicas, tales como color de piel, ojos y cabello, estatura, etc. pero esto no debe considerarse como racismo, debemos aceptar que sí existen esas diferencias y que el ADN lo hace patente científicamente. Lo que no aceptamos, obviamente, es que esas diferencias hagan a las razas superiores o inferiores entre sí.

Las recomendaciones que la O.T.A. hizo al Congreso en relación al asunto en comento, son las siguientes:

En relación a la forma de unificar la prueba, el Congreso debería:

- Pedir que la Confederación Nacional de Comisionados en la Uniformación de las Leyes, promueva las prácticas uniformes.

- Proponer el uso de un formato. Reunir a los expertos con el objeto de que se elabore una guía confiable.

- Pedir al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología que revise que las técnicas estándares sean aceptables.

- Establecer una comisión independiente, con objeto de examinar el grado de confiabilidad de los mismos.

- Promulgar una legislación con bases amplias que cubran los laboratorios forenses.

- Dirigirse al Procurador General para que establezca los estándares y vigile su cumplimiento.

La Fundación para las Ciencias Forenses del Congreso debería:

- Incrementar la aportación federal para los laboratorios periciales.

- Incrementar la aportación federal para el entrenamiento y educación del personal de esos laboratorios.

- Incrementar la aportación federal para investigación básica en usos forenses de los análisis de ADN.

En relación a la formación del banco de datos, se recomienda al Congreso:

- Poner límites sobre los bancos federales y estatales.

En relación a la formación del banco de datos, se recomienda al Congreso:

- Poner límites sobre los bancos federales y estatales.

- En relación a la estandarización de los datos contenidos en los bancos, el Congreso debería:

- Asignar fondos a los Estados para contingencias en la adopción de la tecnología estandarizada.

- Ordenar al F.B.I. que niegue el acceso al Centro Nacional de Información Criminal a aquellos Estados que no implemente una tecnología de acuerdo al protocolo de estandarización que se llegue a establecer.

En relación a las consideraciones de privacidad, el Congreso debería:

- Establecer una comisión para estudiar las consideraciones de privacidad relativas a la recolección, uso y almacenamiento de la información genética y el material del cual se extrajo.

- Limitar el tipo de información genética que puede ser almacenada en los sistemas que reciban apoyo federal.

- Poner más restricciones al acceso de la información genética almacenada en los bancos de datos que reciban apoyo federal. (45)

(45) O.T.A. Report Brief "Genetic Witness: Forensic Uses of DNA, Tests" . U.S. Government Printing Office, Washington D.C. 1990.

- Alelo.-** Una de las muchas formas alternativas de un gen ocupando un lugar dado en un cromosoma.
- A.D.N.-** Abreviación de Acido Desoxirribonucleico. Las moléculas que contiene la información hereditaria (genética).
- Bases.-** Las unidades químicas (adenina, timina, guanina y citocina), en las moléculas de A.D.N. que constituyen el código genético.
- Cromosomas.-** El lugar en donde se encuentra el material hereditario (genético), dentro de la célula. Los genes que se encuentran ordenados en una secuencia lineal a lo largo de los cromosomas.
- Electroforesis.-** Una técnica para ordenar las partículas biológicas exponiéndolas a una carga eléctrica. En la electroforesis del A.D.N. la distancia de las partículas que viajan en el campos de la electroforesis depende de su tamaño; las partículas más pequeñas van más lejos que las grandes.
- Enzima de restricción.-** Las enzimas actúan como tijeras moleculares para cortar las moléculas de A.D.N. en lugares específicos.
- Filas repetidas.-** Múltiples copias de la misma secuencia de A.D.N. ordenadas en sucesión directa a lo largo de un cromosoma.

- Gen.-** Es la porción de la molécula de A.D.N. que comprende la unidad de funciones básicas hereditarias.
Un segmento de A.D.N. contiene el código para la producción de una proteína específica.
- Marca Genética.-** Cualquier característica que actúa como indicador o señal de la presencia o localización de un gen o características hereditarias en un individuo o en una población.
- Nucleótidos.-** Las unidades fundamentales de ácido nucleico.
Estos consisten en una de las cuatro bases (adenina, timina, guanina y citocina), más una azúcar y un fosfato unidos.
- Kilobase (Kb).-** Una unidad de mil bases de A.D.N.
- Locus.-** La posición sobre un cromosoma en la cual se encuentra un gen de un rango particular.
- Polimorfismo.-** Una variante ocurrida en forma natural o inducida en la secuencia de la información genética sobre un segmento de A.D.N.
- P. C. R.-** Reacción en cadena de polimerase que sirve para seleccionar una secuencia de A.D.N. específico en el genoma, que se utilizará para amplificar los genes, con el objeto de producir material suficiente para los análisis.

P. I.- En la proporción de la probabilidad de que un supuesto padre sea el padre biológico, contra la probabilidad de que lo sea otro.

Proteína.- Una molécula consistente de aminoácidos enlazados.
Las proteínas son los productos de un gen y son los componentes funcionales y estructurales de las células.

R. S. L. P.- Un polimorfismo en secuencia del A.D.N. que puede ser detectado sobre las bases de las diferencias en el largo de los fragmentos de A.D.N., producidos cortando el A.D.N. con una enzima específica.

Sonda.- Un fragmento de A.D.N. transportando el código complementario para una específica secuencia de base.
Estos fragmentos pueden ser usados para detectar las variaciones en la secuencia de las bases que establecen la identidad genética.

Southern-Blot.- Una técnica para transferir fragmentos de A.D.N. separados por electroforesis con un filtro especial, sobre el cual los fragmentos de A.D.N. específicos pueden ser detectados por una sonda radioactiva.

CONCLUSIONES

PRIMERA.- Las pruebas son la base en la que se sustenta todo proceso y la prueba pericial es la más objetiva de las pruebas, por estar basada en la técnica y en la ciencia.

SEGUNDA.- Dentro de estas pruebas periciales ha surgido una prueba cuyo grado de confiabilidad es del cien por ciento pues, como ha quedado asentado, dentro del cuerpo de este trabajo el código genético de cada persona es único.

TERCERA.- En un principio esta técnica tenía la dificultad de que necesitaba una muestra de ADN en relativo buen estado y en cierta cantidad, sin embargo, actualmente la muestra puede ampliarse y por tanto, la cantidad requerida es mínima.

CUARTA.- La aplicación de esta prueba como medio de identificación es tan sencilla como sacar una pequeña muestra de sangre del probable responsable y no se lesiona ni pone en peligro bien jurídico alguno.

QUINTA. Tiene además de la ventaja de poder ser extraída de cualquier órgano y de la mayor parte de los fluidos del cuerpo, lo cual permite la completa identificación de los cadáveres y establecer la paternidad en casos de disputa, sin margen de error.

SEXTA.- Las técnicas usadas para extraer el código genético de muestras biológicas, en los países en los que tiene algunos años de aplicación, han sido aceptadas en los juicios con base en que "... la aceptación que dentro del medio científico han tenido, considerándose en el medio jurídico que no existe motivo alguno para dudar de su eficiencia o de la ética con que las grandes empresas dedicadas a ello, las manejan, a través de sus laboratorios forenses...".

SEPTIMA.- En los Estados Unidos de Norteamérica, en donde esta técnica ha tenido mayor desarrollo, ha sido estudiada y evaluada por la O.T.A. cuyas recomendaciones más importantes son:

1. La recolección y manipulación del material biológico, base del análisis genético como prueba pericial, deberá ser efectuada por personal profesional y capacitado para tal tarea, siguiendo un estricto método de recolección de la muestra utilizando el equipo adecuado, esto con el fin de preservar la muestra en óptimas condiciones.

2. La muestra deberá sea enviada a por lo menos dos laboratorios especializados en esta técnica y de reconocido prestigio para asegurar una estricta garantía en sus procedimientos. Esto con el fin de obtener resultados concluyentes.

Existe inclusive un proyecto para uniformar los criterios y las técnicas en la forma de recabar la evidencia y de extraer el código genético, con objeto de evitar que la prueba sea objetada en los juicios.

Existe además, el proyecto de establecer un banco de datos de información a nivel nacional, con los códigos genéticos, así como ahora existe el de huellas dactilares.

OCTAVA.- En nuestro país, de acuerdo con el artículo 20, fracción V de la Constitución Política, no existe impedimento legal alguno para que sea aceptada esta prueba en los juicios.

BIBLIOGRAFÍA

- Asimov, Isacc. El Código Genético. Trad. Ana María de la Fuente. Ed. Plaza & Janes. México. 1987.
- Becerra Bautista, José. El Proceso Civil en México. Porrúa. México. 1986.
- Bernardo D. Davis, Renato Dulbecco, M. D., Herman N. Eisen, Harold S. Ginsberg. Tratado de Microbiología. Ed. Salvat. Barcelona. 1978.
- Bonnier, Edouard Louis Joseph. Tratado Teórico Práctico de las Pruebas en Derecho Civil y Penal. Imprenta de Jurisprudencias. Madrid. 1874.
- Colín Sánchez, Guillermo. El Proceso Penal Mexicano. Porrúa. México. 1986.
- Colín Sánchez, Guillermo. Derecho Mexicano de Procedimientos Penales. Porrúa. México. 1992.
- Castillo Larrañaga, Manuel y Rafael de Pina. Instituciones de Derecho Procesal Civil. Porrúa. México. 1950.
- Couture, Eduardo J. Estudio de Derecho Procesal Civil. EDIAR. Soc. Anón. Editores, Sucesores de Compañía Argentina de Editores, S.R.L. Buenos Aires. 1948.

- De pina Vara, Rafael. Principios de Derecho Procesal Civil. Porrúa. México. 1991.
- Devis Echandía. Nociones Generales de Derecho Procesal Civil. Aguilar. Madrid. 1986.
- Díaz de León, Marco Antonio. Derecho Mexicano de Procedimientos Penales. Porrúa. México. 1992.
- Díaz de León, Marco Antonio. Diccionario de Derecho Procesal Penal. Porrúa. México. 1986. Vols. I - II.
- Diccionario Conciso Sinónimos y Antónimos. Ed. Océano. Barcelona. 1992.
- Diccionario Ilustrado de la Lengua Española; Enciclopedia Universal Sopena, Barcelona, Ramón Sopena, 1966, IX Vols.
- Diccionario Jurídico Mexicano, Porrúa - UNAM 5a. Ed. México, 1992.
- Diccionario Léxico Hispano, México, W. M. Jackson Inc. Editores, 1979, 5a. ed., II Vols. pp. 690.
- Diccionario Moderno Larousse Español Inglés. English Spanish, Ediciones Larousse, México. 1983.
- González Bustamante, Juan José. Principios de Derecho Procesal Penal Mexicano. Porrúa. México. 1958.

- Lessona, Carlos. *Teoría de la Prueba en Derecho Civil. Tomo IV. Ed. Reus. Madrid. 1928.*
- Malatesta, Nicolas Framarino Dei. *Estudio de Derecho Procesal Civil. EDIAR. Soc. Anón. Editores, Sucesores de Compañía Argentina de Editores S.R.L. Buenos Aires. 1948.*
- Mittermier, *Tratado de la Prueba en Materia Criminal. Ed. Reus, S.A. Madrid. 1929.*
- Piña y Palacios, Javier. *Derecho Procesal Penal. Ed. Talleres Gráficos. México. 1948.*
- Rivera Silva, Manuel. *El Proceso Penal Mexicano. Ed. Porrúa. México. 1986.*
- Rodríguez, Ricardo. *El Procedimiento Penal en México. Ed. Porrúa. México. 1958.*
- Senties Melendo, Santiago. *Naturaleza de la Prueba. Ed. EJEA. Buenos Aires. 1978.*
- Silva Silva, Jorge Alberto. *Derecho Procesal Penal. Edit. HARLA. México. 1990.*
- Toporek, Milton Dr. *Bioquímica. Traducción Dr. Roberto Folch Fabre. Ed. Interamericana. México. 1972.*

- Webster's New Illustrated Dictionary, Books Inc. Publishers New York.
Washington, D. C. 1983.

FUENTES HEMEROGRAFICAS.

- Baird, M., Balazs, I., Guisti, A., Miyazaki, L., Nicholas, L., et al., "Allele Frequency Distribution of Two Highly Polymorphic DNA, Sequences in Three Ethnic Groups and Its Application to the Determination of Paternity, "American Journal of Human Genetics, Vol. 39.
- Dabbs, D. and Cornwell, P. D., "The Use of DNA Profiling in Linking Serial Murders". En: MédicoLegal Bulletin, Vol. 37, No. 6, noviembre-diciembre, 1988. pp. 2-10.
- Eisenstein Barry I. The Polymerase Chain Reaction. En: New England Journal of Medicine. Número 322. Enero, 1990.
- Elrich, Henry. "Gel Electrophoresis", En: "Methods in Enzymology", Vol. 68, 1988, p. 153.
- Gill P., Jeffreys, A.J. and Werrett, D>J., "Forensic Application of ADN Fingerprints". En: Nature, Vol. 318 No. 1985, pp. 577-579.
- Gill P., Jeffreys A. J. and Errett D. J. Op. Cit. pp. 577-579.
- Gill, P., Lygo, J.R. Fowler, S.J. and Werrett, D.J. "An Evaluation of DNA Fingerprints for Forensic Purposes" En: Electrophoresis. Vol. 8, No. 2, 1986, pp. 191-194.
- Guisti, A., Baird M., Pasquale, S., Balazs, I. and Glassberg, J. "Application of DNA Polymorphisms to the Analysis of DNA Recovered from Semen." Journal of Forensic Sciences. Vol. 31. No. April 1986. pp. 409-417.
- Henry C. Lee, R.E. Gaenssles, P. David Bigbees y James J. Kearney, Guidelines for the Collection and Preservation of DNA Evidence, Journal of Forensic Identification. 344/41 (5) 1991.

- Giusti Arnold " Application of Deoxyribonucleic acid (DNA). Revista Science, 10 de junio de 1989, p.1408.
- Jeffreys, A. J. Wilson V., and Thein, S.L. "Hypervariable Minisatellite Regions Human DNA. En: "Nature". Vol. 314, 1985, pp. 67-73.
- Jeffreys, Alec. Revista Science, 1o. de agosto de 1986, p. 521.
- Jeffreys, Wilson y Thien, Individual Specific "Fingerprints" of Human DNA, Revista Naturate 316. 1985 pp. 76-78.
- Kobilinsky, L. and Levine, L., "Recent Application of DNA Analysis to Issues of Paternity", Journal of Forensic. Vol. 33. No. 5. Sept. 1988. pp.1107-1108.
- L. McNally, R.C. Shaler, A. Guisti, M. Baird, I Balazs, et al., "The Effects of Environment and Drying Surfaces on DNA: The Use of Casework Samples from New York City," Lifecodes Corporation Valhalla, NY, and John Jay College of Criminal Justice. New York, personal communication. 1988.
- Louis A. Tonelli, Karen R. Markowitz, Mariane B. Anderson u otros - Use of Deoxyribonucleic Acid (ADN) Fingerprints for Identity Determination: Comparasion with Traditional Testig Merods - Part I Journal of Forensic Sciences, JFSCA, vol 35. No. 6, Nov. 1990. pp.1265-1269.
- O.T.A , Report Brief, "Genetic Witness: Forensic Uses of DNA Tests". Julio 1990, Washington: D. C.

LEGISLACION

- **Código Penal para el Distrito Federal en Materia de Fuero Común y para toda la República en Materia de Fuero Federal. Porrúa. México. 1992.**

- **Código de Procedimientos Penales para el Distrito Federal, Ediciones Delma, México, 1993, quinta edición.**

- **Código Federal de Procedimientos Penales, Editorial Esfinge, S.A. de C.V., México, 1993, primera edición.**

- **Código Penal para el Distrito Federal, Editorial Porrúa, S.A., México, 1993, 51a. edición.**