

MANUAL DE CRIMINALÍSTICA Y CIENCIAS FORENSES

Técnicas forenses aplicadas
a la investigación criminal

Coordinadoras científicas:

María José Anadón Baselga · María del Mar Robledo Acinas



tebar

MANUAL DE CRIMINALÍSTICA Y CIENCIAS FORENSES

Técnicas forenses aplicadas
a la investigación criminal

www.medilibros.com

MANUAL DE CRIMINALÍSTICA Y CIENCIAS FORENSES

Técnicas forenses aplicadas
a la investigación criminal

Coordinadoras científicas:

María José Anadón Baselga · María del Mar Robledo Acinas



Datos de catalogación bibliográfica:

MANUAL DE CRIMINALÍSTICA Y CIENCIAS FORENSES.

Técnicas forenses aplicadas a la investigación criminal

María José Anadón Baselga

María del Mar Robledo Acinas

EDITORIAL TÉBAR, S.L., Madrid, año 2010

ISBN: 978-84-7360-338-6

Materias: 343.98 Criminalística. Ciencia Forense.

Técnicas y tácticas criminológicas. Victimología

Formato: 165 × 240 mm Páginas: 512

www.editorialtebar.com

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con la autorización expresa de Editorial Tébar. La infracción de estos derechos puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual.

MANUAL DE CRIMINALÍSTICA Y CIENCIAS FORENSES.

Técnicas forenses aplicadas a la investigación criminal

© 2010 Editorial Tébar, S.L.

C/ de las Aguas, 4

28005 Madrid (España)

Tel.: 91 550 02 60

Fax: 91 550 02 61

pedidos@editorialtebar.com

www.editorialtebar.com

ISBN: 978-84-7360-338-6

Depósito legal:

Diseño editorial: Omega Estudio Gráfico

Diseño de portada: Omega Estudio Gráfico

Maquetación: Aurora Sánchez Pérez

Imprime: Edigrafos

LISTA DE AUTORES

- Álvarez González, Ana María
Profesora titular de Edafología. Universidad Autónoma de Madrid
- Álvarez Menéndez, María Dolores
Doctora en Veterinaria
- Anadón Baselga, María José
Directora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid
- Arroyo Pardo, Eduardo
Director del Laboratorio de Biología Forense. Escuela de Medicina Legal y Forense. Universidad Complutense de Madrid
- Baeza Ritcher, Carlos
Licenciado en Biología
- Boi, Marzia
Profesora Asociada en la Universidad de las Islas Baleares
- Borobia Fernández, César
Director de la Escuela de Medicina del Trabajo. Universidad Complutense de Madrid
- Capó Martí, Miguel
Profesor del Departamento de Toxicología y Farmacología. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid
- Carrel González, María del Pilar
Profesora titular de Edafología. Universidad Autónoma de Madrid
- Díaz Martínez, Alexis David
Licenciado en Medicina y Cirugía
- Fernández Domínguez, Eva
Profesora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria. Sección Biología Forense. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid
- Fernández Pérez, Alicia
Médico especialista en Medicina Legal y Forense
- Gamba, Cristina
Licenciada en Biología
- García Minguito, Laura
Médico especialista en Medicina de Familia
- Labajo González, Elena
Profesora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria. Sección Odontología Forense. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid
- López Parra, Ana María
Profesora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria. Sección Biología Forense. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid

LISTA DE AUTORES

- Marote González, Rosa María
Médico Forense del Juzgado de Violencia sobre la Mujer nº 3 de Madrid
- Mateos Martín, Julian
Doctor en Ciencias Ambientales
- Pera Bajo, Francisco Javier
Director de la Clínica Médico Forense de Madrid
- Perea Pérez, Bernardo
Secretario Académico de la Escuela de Medicina Legal y Forense. Universidad Complutense de Madrid
- Robledo Acinas, María del Mar
Directora del Laboratorio de Antropología Forense y Criminalística. Escuela de Medicina Legal y Forense. Universidad Complutense de Madrid
- Sánchez Sánchez, José Antonio
Director de la Escuela de Medicina Legal y Forense. Universidad Complutense de Madrid
- Santiago Saez, Andrés
Jefe de la Unidad de Medicina Legal del Hospital Clínico San Carlos de Madrid
- Tirado Vizcaino, Miriam
Técnico del Laboratorio de Biología Forense. Escuela de Medicina Legal y Forense. Universidad Complutense de Madrid
- Uroz Martínez, Victoria
Profesora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria. Sección Toxicología Forense. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid
- Zaballos García, Matilde
Médico especialista en Anestesia y Reanimación. Hospital Gregorio Marañón de Madrid

1. ANTROPOLOGÍA FORENSE. INVESTIGACIÓN CRIMINAL EN RESTOS ÓSEOS <i>Robledo, M. M. y Sánchez, J. A.</i>	16
2. ODONTOESTOMATOLOGÍA FORENSE. EL PAPEL DEL ODONTÓLOGO EN LA INVESTIGACIÓN CRIMINAL <i>Labajo, M. E. y Perea, B.</i>	54
3. TOXICOLOGÍA FORENSE I. INTOXICACIONES POR ALCOHOL ETÍLICO <i>Anadón, M. J. y Uroz, M. V.</i>	76
4. TOXICOLOGÍA FORENSE II. INTOXICACIONES POR DROGAS DE ABUSO <i>Uroz, M. V. y Zaballo, M.</i>	116
5. SEXOLOGÍA MÉDICO-LEGAL. DELITOS CONTRA LA LIBERTAD SEXUAL: AGRESIONES SEXUALES, ABUSOS SEXUALES Y VIOLACIÓN <i>Marote, R. M. y Pera, F. J.</i>	140
6. ESTUDIO FORENSE DE FIBRAS <i>Álvarez, M. D. y Mateos, J.</i>	170
7. ESTUDIO FORENSE DE PELOS <i>Álvarez, M. D. y Mateos, J.</i>	194
8. ESTUDIO PERICIAL DE SUELOS <i>Álvarez, A. M. y Carrel, M. P.</i>	218
9. PALINOLOGÍA Y ENTOMOLOGÍA FORENSE <i>Boi, M. y Capó, M.</i>	242
10. GRANDES CATÁSTROFES. ORDENAMIENTO LEGAL, TIPOS DE ACCIDENTE Y PLAN GENERAL DE ACTUACIÓN. EL EQUIPO DE NECROIDENTIFICACIÓN <i>Labajo, M. E. y Sánchez, J. A.</i>	264

11. EL ADN EN LAS CIENCIAS FORENSES <i>Fernández, E.; Gamba, C. y López, A. M.</i>	284
12. TIPOS DE POLIMORFISMO Y APLICACIONES FORENSES <i>Arroyo, E.; Baeza, C. y Tirado, M.</i>	306
13. TANATOLOGÍA <i>Sánchez, J. A. y Robledo, M. M.</i>	322
14. ESTUDIO MÉDICO-FORENSE DE LAS CONTUSIONES, CAÍDAS Y PRECIPITACIONES. LESIONES PRODUCIDAS POR ARMAS BLANCAS <i>Sánchez, J. A.</i>	348
15. PERITACIÓN Y ANATOMÍA ORIENTADA A LA MEDICINA FORENSE. TOMA Y ENVÍO DE MUESTRAS <i>Sánchez, J. A.</i>	370
16. LEVANTAMIENTO DEL CADÁVER <i>Santiago, A.</i>	384
17. PATOLOGÍA FORENSE I. HERIDAS POR ARMAS DE FUEGO <i>Santiago, A.</i>	398
18. PATOLOGÍA FORENSE II. AHORCADURAS, ESTRANGULACIONES, SUMERSIONES Y SOFOCACIONES <i>Santiago, A.</i>	412
19. INVESTIGACIÓN DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO <i>Borobia, C.; Díaz, A. D.; Fernández, A.; García, L. y Uroz, M. V.</i>	428
20. PSIQUIATRÍA FORENSE: SIMULACIÓN Y DISIMULACIÓN DE ENFERMEDADES Y LESIONES. TRASTORNOS DE LA PERSONALIDAD. TOXICOMANÍAS <i>Marote, R. M. y Pera, F. J.</i>	448

Tomé posesión de la Cátedra de Medicina Legal de la Universidad de Valencia el año 1990. Han transcurrido ya 20 años desde que abandoné los laboratorios de la Escuela de Medicina Legal, por lo tanto constituye un auténtico y sentido honor que se me haya propuesto prologar este libro. No es habitual que en la universidad se mantenga el sentido de escuela, el recuerdo y amistad del equipo, por eso quiero ante todo hacer constar mi admiración y mi agradecimiento a quienes dirigen actualmente el Departamento y la Escuela de Medicina Legal de la Universidad Complutense de Madrid, que saben mantener la unidad y la hermandad de quienes nos hemos formado en los mismos ambientes.

Es éste un libro que constituye la expresión científica de la vitalidad y la continuidad funcional de una vieja institución científica española, notable por su calidad, por su longevidad, por su continuidad y por conseguir la persistencia de un estilo y de un espíritu que permiten calificarla de escuela científica y universitaria en el sentido clásico del término.

La historia de España está llena de circunstancias cambiantes donde han muerto o desaparecido otras muchas escuelas y grupos de investigación. Quisiera recordar que la Escuela de Medicina Legal se creó en el año 1929, en el que se transformó el primitivo Instituto de Medicina Legal, Toxicología y Psiquiatría Central de España de 1914, ambos creados y diseñados por Don Tomás Maestre, auténtico pionero e innovador de la medicina española. Se trata de una institución dedicada a la enseñanza y a la investigación, que va a cumplir un centenar de años de función y trabajo ininterrumpido, raro sobre todo en un organismo oficial donde la política y los intereses colectivos y personales siempre acaban haciendo mella. Desde Maestre, sus directores han sabido otorgar continuidad en el proceloso mundo de la política nacional, judicial y universitaria. Fraile, Aznar, Piga, Royo-Villanova, Muñoz Tuero, Moya y actualmente Anadón y Sánchez siguen con la fructífera labor que hoy ya constituye historia.

Esta larga andadura ha acumulado una larga y copiosa experiencia que continúa en los jóvenes investigadores que demuestran su saber en esta publicación. La Escuela, como la enseñanza, ha pasado por épocas de extrema penuria que sólo la vocación, el buen hacer y el espíritu de superación consiguieron remontar. Tuve ocasión de conocer épocas en las que las notas y borradores se escribían en papel de estraza y se dejaba el de calidad para redactar los informes judiciales; podría exhibir mi primer contrato como jefe de la Sección de Investigación Criminal y Forense, por ¡12.720 pesetas anuales!, incompatible con cualquier otro cargo; soy testigo del peregrinaje en busca de locales adecuados al tiempo y a la función, primero en la vieja Facultad de San Carlos, en la calle Atocha, luego provisionalmente en el pabellón 7 de la Facultad de Medicina, o en el pabellón actual, donde se dispone de espacio para desarrollar la función y ubicar la moderna aparatología y tecnología, o donde cabe un museo y un archivo, como exige la Medicina Legal actual.

En nuestro ambiente científico también es raro que 96 años después de su creación siga enseñando, creando y publicando en un contexto en el que las revistas y publicaciones científicas tienen una duración extremadamente reducida. Este libro que presento demuestra esa continuidad en la labor docente e investigadora de la Cátedra y la Escuela. Es un volumen que recoge algunas de las numerosas novedades de la Medicina Legal en su área de Criminalística.

No puedo perder esta ocasión para rendir el obligado homenaje a los maestros a los que debo todo lo que puedo ser: Aznar y Royo-Villanova, Ladrón de Guevara y Muñoz Tuero, y a los compañeros de los distintos equipos y colaboradores, especialmente al profesor Muñoz Rey, compañero de tantas horas de fatigas, estudiantes y profesores que compartieron esa función docente e investigadora. Cuando me desplazé a Valencia, un somero cálculo me hizo darme cuenta que por mis manos habían pasado 60.000 estudiantes, y son precisamente éstos el estímulo permanente que nos obliga a la docencia y a la superación.

Recuerdos entrañables rememoran los años transcurridos en la institución, desde que comencé a participar en ella como alumno interno el año 1965, y durante los siguientes 25 años, hasta mi traslado como catedrático a Valencia; una vida entera que incluye mi formación científica y humana, el matrimonio, el trabajo con mi mujer y la formación de una familia desde dentro y en el seno de la Medicina Legal.

Cualquier curioso que se acerque a este *Manual de Criminalística y Ciencias Forenses* observará que trasciende la equivalencia entre Criminalística y pericia judicial y policial de laboratorio. Éste es un criterio que Piga y Aznar supieron darle y que modestamente intenté continuar durante los años 1968 y 1990 en los que estuve al frente de la Sección de Investigación Criminal y que luego siguió la profesora Ramos Almazán. Un trabajo meramente técnico de laboratorio no tiene más sentido en sí mismo, salvo la satisfacción del trabajo bien hecho por la delicada y compleja técnica desarrollada, pero sin el sentido simplificador y clarificador que le proporciona la Medicina Legal, que es la que le ofrece la posibilidad de sumarle un objetivo y finalidad, aplicados a resolver los problemas periciales que plantea la Administración de Justicia. De ahí la necesidad de un enfoque general, de fondo, que permita evaluar el lugar de los hechos, los indicios del delito, las pesquisas policiales y la reconstrucción del caso, esto es: la dinámica pericial que evita la mera aplicación de un recetario estereotipado impregnado de dogmatismo y apriorismo. Cada caso es diferente y las circunstancias del cada uno, como nos han transmitido nuestros maestros, son las que condicionan realmente el contenido, la esencia y el desarrollo de la pericia judicial.

La experiencia acumulada, filtrada y matizada por la docencia origina un especial modo de considerar las cuestiones biológicas que plantea la investigación, especialmente la investigación criminal. La numerosa casuística de la Escuela es fuente de nuevas investigaciones que generan la confianza en el trabajo pericial, incluso, con el tiempo y las circunstancias, casos célebres, algunos de los cuales han colaborado a la misma historia de España y al prestigio de la Escuela.

Este manual aparece como hermano menor, y no por eso menos querido, de los numerosos libros y textos que se han ido sucediendo en este largo periodo. Es un libro optimista, escrito por especialistas en Medicina Legal y expertos en el laboratorio actual, y digo optimista porque, ellos lo saben, entran en el esfuerzo imposible de desarrollar y fijar una Medicina Legal y Forense que nunca va a ser la misma y que evoluciona con una rapidez difícilmente abarcable, porque es una de las ramas de la medicina que más se ha desarrollado técnica y metodológicamente, dado su más que rápido, fulgurante crecimiento y desarrollo. No en

balde, Maestre calificaba la Medicina Legal como toda la medicina aplicada a resolver cuestiones judiciales, lo que produce un complejo campo doctrinal y técnico en el que se mueve dicha disciplina, cuyos textos siempre se quedan viejos incluso antes de salir al mercado, y que en el momento actual no caben en ninguna cabeza por bien dotada que esté, que precisa de la especialización y la creación de complejos equipos multiprofesionales altamente especializados, coordinados e integrados, como el que presento con estas líneas. Necesidad de especialización que han evidenciado los grupos propios de la Medicina Legal que se han especializado de modo autodidacta, los que ha regularizado la Comisión Nacional de la Especialidad, los que ha creado el Cuerpo Nacional de Médicos Forenses o los grupos docentes e investigadores que han ido apareciendo en diversos colectivos especializados, corporativos o de funcionarios de la Policía o de la Guardia Civil.

Es éste un complejo cuerpo doctrinal y técnico que precisa imperiosamente la sociedad para su protección. Buena prueba de ello son la demanda existente de formación de estudiantes y especialistas, los cursos de investigación criminal que continúan desarrollándose, la docencia impartida regularmente a la oficialidad de la Guardia Civil, los convenios docentes realizados con la Policía y sus escuelas o con los Institutos de Criminología y el continuo requerimiento que el mundo de la investigación judicial solicita de los profesores y especialistas del Departamento y Escuela de Medicina Legal.

Cualquier espíritu abierto a la ciencia contempla con asombro el espectacular desarrollo de la Medicina Legal y, dentro de ella, del amplio capítulo de la Criminalística, especialmente considerada desde el ángulo de la investigación criminal, en la que necesariamente participan todas las áreas de conocimiento. Y puedo dar fe después de mi convivencia con los grandes maestros de la Medicina Forense que han pasado por la Cátedra y Escuela de Medicina Legal. Pensemos en el campo de la tanatología, que aprendimos en el Instituto Anatómico Forense, día a día en los casos de investigación compartida y en las numerosas sesiones prácticas desarrolladas con los alumnos de cada curso, con los inolvidables Pérez de Petinto, Fernández Martín o Muñoz Tuero; el gigantesco desarrollo de la analítica e inmunohematología, que desarrollaron figuras como Marañón, González Bernal, Moya y Ruiz de la Cuesta; la explosión explosiva experimentada por la medicina social desde la época de Saldaña a la moderna gestión y necesaria creación de la Escuela de Medicina del Trabajo, la medicina de los seguros y la valoración del daño corporal, que constituye en sí misma una especialidad universitaria; la antropología forense, que se ha desarrollado imparablemente sobre los esquemas iniciales de Pérez de Barradas y que luego Piga, Lecha Marzo, Claudio Aznar, Muñoz Tuero, Rubio, Reverte y Sánchez han sabido sistematizar; la psiquiatría forense, que desde la brillante estructuración de Velasco Escassi, supieron continuar sus discípulos y Carrasco entre nosotros; o la toxicología, que desarrollaron Pascual, Páez Ríos y Ladrón de Guevara, cuya labor tuvimos la posibilidad de conocer desde su misma entraña en el período provisional en el que me encargaron su desarrollo.

En este rico panorama científico sólo me resta hacer públicos mis mejores deseos a la nueva criatura, al nuevo libro cuyo contenido conozco, y desearle que, como con otros anteriores, tenga un completo éxito editorial, una crítica constructiva y que se manifieste en nuevas ediciones y en su utilización por los actuales investigadores y por las nuevas generaciones que se están formando.

José Delfín Villalain Blanco. Catedrático de Medicina Legal.



1

ANTROPOLOGÍA FORENSE. INVESTIGACIÓN CRIMINAL EN RESTOS ÓSEOS

María del Mar Robledo Acinas

*Directora del Laboratorio de Antropología Forense y Criminalística.
Escuela de Medicina Legal y Forense. Universidad Complutense de Madrid*

José Antonio Sánchez Sánchez

*Director de la Escuela de Medicina Legal y Forense.
Universidad Complutense de Madrid*



Figura 1. Maletín de antropología forense del Doctor Maestre de principios del siglo XX. Museo de Antropología Médica y Forense, Paleopatología y Criminalística Profesor Reverte Coma

INTRODUCCIÓN

La antropología forense, según la definición de la *American Board of Forensic Anthropology*, es la aplicación de la ciencia de la antropología física o antropología biológica al proceso legal. El antropólogo forense aplica normas técnicas científicas desarrolladas en la antropología física para la identificación de restos óseos y/o cadáveres en distintos estadios de conservación (con alteraciones de índole natural, accidental o intencional), asistencia para la localización y recuperación de restos humanos e identificación de sujetos vivos.

Para Reverte (1999), la antropología forense tiene como fines principales el estudio de los restos óseos esqueléticos con objeto de llegar a la identificación personal, averiguar la causa de la muerte, data de la muerte, edad, sexo, raza, estudio de la cavidad bucal y todo cuanto sea posible para proporcionar información a los investigadores policiales para que puedan llegar a la identificación del sujeto. Además, la antropología forense estudia al sujeto vivo y sus características biotipológicas así como su posible relación con los hechos delictivos. La antropología forense se encuentra, junto con la odontología forense y la patología forense, dentro del marco de actuación específico de las Ciencias Forenses.

Según Krogman e Iscan (1986) trata «la reconstrucción de la biografía biológica antemortem incluyendo el intento de reconstrucción de la forma de vida de la víctima hasta el momento de su muerte».

Al igual que en la medicina legal y forense, y por ser una rama dentro de ésta, la antropología forense intenta determinar, en primer lugar, la identidad del sujeto, y posteriormente, el diagnóstico de la muerte, data y todas las circunstancias que ocurrieron en el momento de la misma.

Para llegar a la identificación del sujeto, uno de los primeros parámetros a determinar es la edad del mismo a partir de sus restos óseos, diferenciando si se trata de los restos de un individuo adulto, infantil o infanto-juvenil para, a partir de aquí, determinar sexo, data y causas de la muerte.

De entre los métodos utilizados por el antropólogo forense para la determinación de la edad de un individuo por sus restos óseos, la radiología juega un papel fundamental por la información que aporta sobre los huesos. Esto hace que las técnicas radiológicas, resulten igualmente válidas para la determinación de la edad tanto de individuos vivos como de individuos fallecidos.

La antropología surge en España en 1860, por la influencia que ejerce en los primeros investigadores españoles Paul Broca, antropólogo francés creador de la antropología física, siendo en 1864 cuando Pedro González de Velasco constituye la Sociedad Española de Antropología, y poco más tarde el Museo Antropológico Nacional.

Se crea en 1884 el Museo y Laboratorio de Craniometría, gracias al trabajo de Federico Olóriz y Aguilera, que convierte esta colección, no sólo en una de las más numerosas de Europa –consta de más de 2.500 piezas–, sino en el referente de numerosos estudios antropológicos.

En esta misma época, a partir de 1880, surgen las primeras publicaciones de antropología criminal, influenciadas por las aportaciones de la escuela italiana de antropología criminal y la antropología jurídica francesa.

Pero si hemos de ceñirnos a la orientación actual de la antropología forense (Sánchez, 1996), es a partir de la II Guerra Mundial con los trabajos, entre otros de Stewart (1979), Krogman e Iscan (1986) y, en nuestro país, Reverte (1991), cuando se instauran las reglas de trabajo de la antropología forense como ciencia que trata de establecer a partir del estudio de los restos óseos todo cuanto sea posible para la identificación, establecimiento de la data, causa de la muerte y cualquier otra circunstancia que pueda tener relevancia en el ámbito judicial

ESTUDIO DEL LUGAR DE LOS HECHOS. RECOGIDA DE LOS RESTOS Y TRASLADO AL LABORATORIO

Ante el hallazgo de un cadáver esqueletizado objeto de estudio mediante técnicas de antropología forense es conveniente seguir un protocolo de actuación con el fin de obtener la máxima información que nos ayude a su solución. Este protocolo contempla la recogida, envío al laboratorio y tratamiento de los restos óseos (Brotwell, 1987; Ubelaker, 1991; Bass, 1995; Rodríguez, 1994). La recuperación debe hacerse con la misma minuciosidad que la búsqueda que se hace en el lugar de un delito, aunque debe realizarse con técnicas especiales.

Se debe dejar constancia de la fecha, el lugar, la hora de comienzo y terminación de la recogida o exhumación de los restos.

1. RECOGIDA DE RESTOS ÓSEOS

Debemos señalar que esta fase dentro del estudio del caso en antropología forense es de suma importancia, ya que una vez retirado el cuerpo del lugar va a ser imposible reconstruir la escena en su forma original.

Distinguiremos tres supuestos:

1.1 Casos en que los restos cadavéricos aparecen en superficie

En estos casos, el hallazgo de los restos suele ser accidental y deberán plantearse las siguientes tareas para evitar que se produzca una mayor alteración:

1. Aproximarse al área cuidadosamente.
2. Acordonar al menos 10 metros alrededor de la mayor concentración de huesos.
3. Que no entre nadie que no tenga algo específico que hacer.
4. Sin tocar los restos, ver si son humanos.
5. Retirar la vegetación excesiva sin alterar la escena.
6. Fotografía de la escena. Sin tocar los huesos y utilizando un testigo métrico o un objeto de dimensiones conocidas y extrapolables.
7. Cuadricular el área con procedimientos técnicos, tomando como punto de referencia para construir la cuadrícula un accidente del terreno fijo e inamovible.
8. Marcar con banderas o listones el campo y señalar en la cuadrícula lo más importante, fotografiar los hallazgos y recogerlos en bolsas o cajas que deben ir debidamente rotuladas.
9. Inventario de todas las operaciones y hallazgos realizados, búsqueda cuidadosa de restos perdidos y examen para ver si existen huellas de animales en los huesos que puedan posteriormente ayudar a la investigación.
10. Tras la recogida de los huesos, toda el área colindante debe ser excavada y cribada, esto es inspeccionar partícula a partícula el sedimento, se puede usar también para ello el lavado y separación en fracciones de distinto tamaño en cribas apropiadas.
11. Recoger muestras del suelo del área donde se sitúa el cuerpo o algún hueso importante y a cierta distancia del mismo, con destino a ser estudiadas en el laboratorio.
12. Recoger los objetos personales que puedan aparecer o cualquier objeto extraño que pueda ayudar en la investigación posterior, anotando las cuadrículas en las que aparecen.

1.2 Casos en los que los restos cadavéricos aparecen enterrados

En estos casos el hallazgo puede deberse a una declaración policial o judicial sobre el lugar en el que se haya enterrada la víctima, o bien fortuito porque se remueva el terreno. En caso de sospecha de enterramiento de un cadáver, Krogman (1986) señala una serie de pautas para la búsqueda de un enterramiento:

- a) Modificaciones en la vegetación debidas a la excavación del terreno. Consolidación del terreno, que adopta una superficie cóncava respecto del suelo circundante durante los primeros meses. La profundidad y duración de la depresión varía según el tipo de suelo, cuando el suelo es arenoso cerca de lagos o ríos esta depresión puede desaparecer antes; si la zona corresponde a un clima desértico la depresión dura más tiempo, dada la ausencia de lluvias que puedan alterarla; si se trata de una tierra de cultivo obviamente la búsqueda es más difícil.
- b) Modificaciones en el suelo. Al excavar la fosa se produce una mezcla de las capas más superficiales del suelo con las más profundas con lo que la coloración de la superficie es diferente.

Si la localización del lugar de enterramiento es conocida sólo vagamente y la simple inspección del terreno no aporta datos suficientes, se hace preciso el uso de instrumentos de búsqueda.

Aunque suele ser de utilidad el uso de detectores de metales, uno de los métodos que más se ha empleado con éxito en enterramientos individuales es el llamado *Ground Penetrating Radar* (Chamberlain, 1994). Este método utiliza señales electromagnéticas que son reflejadas por el terreno según su contenido en agua. El emisor y el receptor se cruzan por la región de interés produciendo una imagen bidimensional, mostrando un retraso respecto a la distancia horizontal. Este retraso es proporcional a la profundidad del enterramiento. Los cuerpos que han sido enterrados en suelos de estratigrafía simple pueden ser identificados por el patrón de las ondas de reflexión causado por el contraste entre el relleno y el suelo circundante intacto, observándose un patrón hiperbólico en la gráfica. El método produce los mejores resultados en suelos arenosos y muy resistentes y es menos efectivo en suelos arcillosos.

También Krogman (1986) señala los buenos resultados del magnetómetro de protones que puede usarse para determinar la presencia de objetos de hierro, hoyos y zanjas, y cualquier otra alteración que se produzca. Otro de los instrumentos que comenta este mismo autor para detectar la presencia de un cuerpo en el suelo es el uso de un equipo de detección de metano, que se forma como sabemos en la descomposición de los cuerpos.

Finalmente, el detector remoto, que realiza fotografías de infrarrojos normalmente desde aviones, es una técnica muy cara que se basa en la detección de calor generado por los cuerpos en descomposición de los tejidos y la diferencia de temperatura del terreno de enterramiento como resultado de la compactación y alteraciones de la vegetación y el suelo. Esta técnica detecta también cualquier

artefacto que exista, como puede ser un mueble, coches antiguos y materia en descomposición.

Una vez descubierto el enterramiento debemos tener en cuenta ante qué tipo de enterramiento nos encontramos. Rodríguez (1994) distingue los siguientes tipos de enterramientos:

- a) Individual o mezclado. Una fosa puede contener los restos mezclados de dos o más personas enterradas en la misma tumba.
- b) Aislados o adyacentes. Si las fosas son aisladas y separadas unas de otras, la excavación se realizará como cualquier otra. Si las fosas son adyacentes deberemos tener cuidado ya que comparten una pared.
- c) Primaria o secundaria. Una fosa primaria es aquella que acoge originariamente al difunto y secundaria cuando los restos se depositan originariamente en otro lugar y luego se cambian a la fosa.
- d) Inalterado o alterado. Un entierro inalterado no ha sufrido cambio (salvo por los procesos naturales) desde el momento del entierro primario. Un entierro alterado es aquel que ha sufrido alguna alteración por la intervención humana. Se considera que todos los entierros secundarios están alterados.

En cualquier caso trataremos de recuperar toda la información posible del enterramiento siendo preciso para ello seguir un protocolo:

1. Acordonar el área.
2. Establecer una cuadrícula. Fotografiar y marcar la localización de la tumba o tumbas sospechosas, huesos y artefactos.
3. Si el lugar ha sido alterado por actividades constructoras, retirar la tierra extraída recientemente. Esto puede requerir limpiar de tierra los cortes hechos por las máquinas, así como las superficies.
4. Retirar la vegetación y delinear la tumba o tumbas con una piqueta.
5. Al retirar la tierra, tomar muestras de la tierra que recubre los huesos, a la altura donde hipotéticamente se encontrarían tórax y abdomen y, cuando hayan dejado de aparecer los huesos, unos 10 cm debajo, debe tomarse otra muestra.
6. Para remover la tierra, debe hacerse del centro a la periferia. Una vez que se descubren los huesos, deben ser dejados en su sitio, si es preciso con un zócalo de tierra por debajo, lo mismo se hará con cualquier otro objeto.
7. No cabe esperar que la tumba sea regular. Con una excavación cuidadosa es posible averiguar incluso el tipo de pala utilizado (redondeada, cuadrada o azadón), así como indicios, huellas de calzado, astillas pintadas, etc.
8. Una vez que el primer hueso sale a la luz, utilizar instrumentos finos, como pinceles, espátulas, cepillos duros y blandos, etc. Nunca se deben usar las espátulas o cualquier otro instrumento con punta o cortante excavando en sentido vertical, sino que se hará en sentido horizontal penetrando la tierra en capas muy delgadas a fin de que los huesos no se dañen.

9. Tras exponer completamente el cuerpo, fotografiarlo, así como los objetos que aparezcan. Como no suele ser habitual que el cuerpo aparezca en un plano perfectamente horizontal, debemos ir fotografiando en cuanto aparecen los huesos por capas y anotando en un croquis tanto las dimensiones verticales como horizontales del lugar donde aparecen. Con ello podremos reconstruir en el laboratorio con exactitud dónde se encontraba cada hueso.
10. Toda la tierra extraída debe ser cribada, por vía seca o húmeda.
11. Levantar el esqueleto y llevarlo al laboratorio en los envases apropiados.
12. Continuar excavando hacia abajo hasta agotar el relleno. Continuaremos excavando hasta que se produzca un cambio de la compactación.

1.3 Cadáveres en avanzado estado de putrefacción

En este caso, conviene no olvidar la apropiada protección para evitar la contaminación y la impregnación de las ropas con olores desagradables y además añadir una mascarilla con el doble fin de evitar infecciones y olores. Se pueden utilizar mascarillas con filtro para vapores orgánicos, de las utilizadas en el ambiente laboral, o si esto no es posible dos mascarillas de cirujano superpuestas.

2. ENVÍO DE LOS RESTOS AL LABORATORIO

Depende del estado en que se encuentren. Si los restos son frágiles deben envolverse en un material que impida su movimiento, para ello valen bolsas de papel, plástico, serrín, algodón, virutas o simplemente papel de celulosa fuerte. Algunos autores preconizaron en su momento el uso de papel de periódico, pero la posibilidad de que se transfieran elementos de la tinta a los huesos desaconseja su utilización.

Si los huesos están húmedos lo mejor es dejarlos secar antes de embalarlos, o si se envían al laboratorio por transporte urgente, en cuanto lleguen hay que sacarlos y dejarlos secar para que no se estropeen.

No deben limpiarse los huesos en el lugar del hallazgo, esta operación se realizará en el laboratorio.

Los restos óseos se introducirán siempre que sea posible en contenedores rígidos (cajas de madera, plástico...) o en todo caso de cartón.

En el caso de cadáveres en estado de putrefacción y que no se puedan estudiar en el lugar donde aparecen, hay que enviarlos en caja de zinc o plomo, según ordena nuestra legislación en materia de policía sanitaria mortuoria.

La documentación adicional debe remitirse al laboratorio, junto con los restos, un informe completo con la totalidad de los datos obtenidos en el lugar del hallazgo. En caso de presumirse la identidad del cadáver será imprescindible recopilar y enviar toda la información disponible sobre el mismo, incluyendo a ser posible: ficha dental, historial médico, estudios radiográficos de cualquier tipo y fotografías de retrato.

TRATAMIENTO DE LOS RESTOS EN EL LABORATORIO DE ANTROPOLOGÍA FORENSE. PROTOCOLOS, INSTRUMENTAL Y TÉCNICAS DE ESTUDIO

1. TRATAMIENTO DE LOS RESTOS

En cuanto lleguen los restos óseos y objetos al laboratorio, debemos desempaquetarlos y extenderlos por si existe alguna humedad que terminen de secarse.

Cuando los huesos llegan al laboratorio y antes de proceder a cualquier otro tipo de actuación debemos:

- Anotar todo tipo de detalles de coloración, persistencia de partes blandas y de cuáles de ellas se trata (ligamentos, piel, músculos, etc.), estado de la adipocira si existe, olor cadavérico o no, si existen insectos o pupas, color y características de la tierra adherida, si existen restos vegetales o cualquier otro tipo de materia extraña que pueda llegar adherida al hueso.
- Examinar si existen cabellos, uñas o cualquier otro elemento que pueda pertenecer al individuo que estudiamos.
- Tomar muestras para análisis (ADN, histología, elementos minerales, etc.).
- Finalmente procederemos al lavado de los huesos para ver si existen en ellos particularidades o marcas que nos puedan ayudar en nuestra investigación.

1.1 Huesos con partes blandas

Se examinarán con las partes blandas adheridas y después se procederá a su limpieza para poder examinar las marcas, si existen, de violencia, así como los signos de identificación, tanto de sexo, talla, edad, como señas particulares. En primer lugar trataremos mediante bisturí u otro elemento cortante de desprender la mayor cantidad de músculos y ligamentos, teniendo cuidado de no lesionar el hueso. Posteriormente se depositan los huesos en un recipiente adecuado con agua que calentaremos con detergente. Esto hará que vayan desprendiéndose los ligamentos y músculos adheridos. El tiempo que debemos tenerlos en esta solución es variable y depende del estado y tipo de hueso, por lo que deberemos vigilar la operación e ir limpiando aquellos huesos que se puedan desbridar. Los primeros suelen ser costillas y en general huesos planos y posteriormente los huesos largos (más robustos). Hay que tener cuidado de no dejarlos más tiempo del necesario dado que pueden deteriorarse y destruirse.

1.2 Huesos totalmente esqueletizados

Por regla general los huesos no suelen engañar respecto a su estado (quebradizo o resistente). Ahora bien, si existe alguna duda respecto a su resistencia Brotwell (1987) aconseja someter uno o dos fragmentos de huesos postcraneos de tamaño pequeño a un lavado de prueba con agua caliente. Si los fragmentos han resistido

bien esta prueba el resto del esqueleto puede lavarse de modo semejante teniendo un cuidado especial con los trozos que estén muy erosionados. En estos casos no deberá usarse ningún detergente. La mayor parte de los huesos pueden limpiarse con cepillos de uñas o utillaje similar, también son útiles cepillos de dientes o instrumentos de limpieza para botellas de diferentes tamaños, ya que por su forma se pueden usar en la limpieza del canal vertebral en vértebras y para agujeros que existan en huesos a los que no puede accederse con el cepillo normal. También puede usarse un baño ultrasónico para separar la matriz adherida a los huesos.

2. PROTOCOLOS, INSTRUMENTAL Y TÉCNICAS DE ESTUDIO

Se entiende por antropometría la medición del cuerpo con el objeto de poder establecer nexos de comparación entre los distintos individuos y entre los distintos grupos o poblaciones. Para poder homologar dichas mediciones, es preciso tener unos puntos de referencia fáciles de determinar y que hayan sido aceptados entre los distintos antropólogos y, por extensión, por sus escuelas; son los llamados puntos antropométricos.

A lo largo de la evolución de la antropología se han ido estableciendo diferentes protocolos a fin de determinar qué puntos antropométricos se debían usar y cuáles son las medidas que pueden tomarse con más fiabilidad y precisión.

Para la toma de medidas antropométricas vamos a necesitar una serie de instrumentos que nos permitan tomarlas con exactitud y con cierta facilidad cuando realizamos nuestro trabajo.

Dentro de lo que se considera instrumental básico tenemos:

a) Calibre

Consiste en una regla de 25-30 cm de longitud con una escala milimetrada a ambos lados coincidiendo con un extremo y el cero de la escala. Hay una rama o brazo superior fijo, que forma ángulo recto con la regla milimétrica y tiene 12-15 cm de longitud. Hay otro brazo móvil, paralelo al anterior que corre a lo largo de la regla escala. Tiene un tornillo que permite su fijación en un momento determinado. Ambos brazos, tanto el fijo como el móvil, están agudizados por un lado, lo que permite la toma de medidas entre dos puntos con exactitud y facilidad. Existen calibres de mayor tamaño para diámetros grandes (como la pelvis) o más pequeños para medidas reducidas (como los dientes).



Figura 2. Calibre

b) Compás de espesor

Es un pelvímetro de Baudelocque modificado. Consta de dos ramas o brazos de acero inoxidable en forma de hoz abierta o signo de interrogación articulados por su extremo recto. Los extremos o puntas de la parte arqueada pueden ser romos o agudos. Articulada a la rama izquierda existe una regla con escala milimétrica y reducida en proporción al extremo de la rama, de tal forma que cuando leemos los milímetros en la regla se corresponden con los milímetros de los extremos de las ramas.

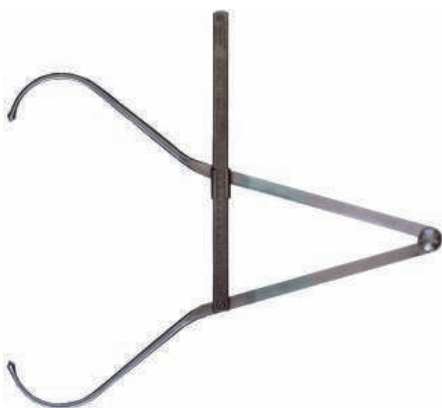


Figura 3. *Compás de espesor*

c) Cinta métrica

Las medidas ideales de la cinta métrica en el equipo de antropología deben ser 1-2 m de longitud y estrecha (no más de 5 mm). Sirve para tomar los perímetros, pero en ocasiones si no disponemos de suficiente materia de medida puede servirnos para tomar la longitud de un esqueleto o de un hueso.



Figura 4. *Cinta métrica*

d) Tabla osteométrica

Se le denomina también osteómetro y consiste en una tabla horizontal cubierta de papel milimetrado y con una escala milimétrica en uno de los bordes laterales. En un extremo de la tabla va otra más corta, fija, de 8 cm de altura y formando ángulo recto con ella. Otra tabla o un tope puede deslizarse a lo largo de la tabla. Las medidas ideales son 65 x 22 cm. Se coloca el hueso largo que se quiere medir, apoyando uno de sus extremos en la parte fija de la tabla. El tope móvil se desliza hasta tocar la otra

extremidad. La posición del hueso debe ser la que nos indique el autor del protocolo de medidas que estemos siguiendo.



Figura 5. *Tabla osteométrica*

e) Goniómetro mandibular

También llamado mandibulómetro, permite tomar determinadas medidas con mayor facilidad y precisión que si tuviéramos que hacerlas con el calibre y goniómetro. Consta de una parte fija que es una tabla osteométrica de pequeño tamaño y una móvil que se desplaza sobre un cuadrante sobre el que además se desliza. Se sitúa la mandíbula sobre el plano de la tabla osteométrica y se levanta la tablilla articulada que apoya sobre los cóndilos de la rama ascendente. Nos permite medir el ángulo mandibular, la longitud y la altura de la mandíbula.



Figura 6. *Goniómetro mandibular*

Las técnicas o métodos empleados en el laboratorio de antropología forense pueden agruparse en:

1. Morfológicos: se basan en el estudio de los cambios morfológicos que se producen en el hueso con el tiempo y en las diferencias morfológicas existentes en los diferentes sexos.
2. Métricos: se basan en la toma de diferentes medidas antropométricas y en la comparación de los resultados con estudios de poblaciones lo más cercanas a la población objeto del estudio, en el espacio y en el tiempo.
3. Histológicos: se estudian los cambios histológicos que se producen en el hueso a lo largo del tiempo.

4. Bioquímicos: basados en los cambios en cuanto a la composición de determinados elementos en el hueso.
5. Genéticos: estudio de ADN.
6. Otros métodos: como pueden ser los radiológicos (Rx dental, Rx de senos frontales...), estudios de análisis de imagen (por ejemplo superposición cráneo-fotografía), etc.

ESTUDIO ANTROPOLÓGICO FORENSE

Ante el hallazgo de unos restos, el antropólogo forense tiene como objetivo principal identificar al individuo o individuos, intentar determinar las causas de la muerte e intentar establecer cuándo se ha producido ésta, para ello, se estudian la especie a la que pertenecen los restos, el sexo, la edad, la talla y cualquier circunstancia anómala que presenten los restos y que puedan ayudar a la identificación.

1. DETERMINACIÓN DE LA ESPECIE

La primera pregunta que nos planteamos al iniciar el estudio de unos restos es si son animales o humanos, responder a esta pregunta no suele plantear demasiados problemas si aparece el esqueleto completo y si tenemos un buen conocimiento de la anatomía humana, haciendo en este caso, un estudio de anatomía comparada.

Se puede plantear que los huesos que aparezcan sean escasos y, por ejemplo, se trate de los huesos de las manos o de los pies, en cuyo caso puede existir confusión con otra especie. En alguna ocasión ha ocurrido con los osos, que tienen una constitución ósea de manos y pies muy parecida a la humana. Y por supuesto este problema, incluso en huesos largos, se puede agudizar si los restos pertenecen a algún tipo de simio. Pero la posibilidad en nuestro medio de que se nos plantee este diagnóstico diferencial es remota.

Reverte (1991) señala que, además de la anatomía comparada, existen ciertas características que pueden ser válidas para la diferenciación animal-humano:

- Peso. El hueso animal pesa proporcionalmente más que el hueso humano.
- Densidad. El hueso animal es más denso y compacto que el hueso humano, y el tejido esponjoso tiene trabéculas más grandes, densas y compactas que el tejido trabecular esponjoso humano.
- Índice medular. Es un método que actualmente está superado por los métodos biológicos. Su cálculo se establecía de la siguiente forma:

$$\text{Índice medular} = \frac{\text{Diámetro mínimo del conducto medular}}{\text{Diámetro mínimo de la diáfisis}}$$

En el hombre el resultado es de 0,45. En los animales en cambio el índice está por encima de 0,50. En el feto humano los valores están comprendidos entre 0,15-0,48.

- Sonido. Si se golpean suavemente entre sí dos huesos animales se produce un sonido casi metálico. Por el contrario si golpeamos suavemente un hueso humano contra otro, el sonido es más apagado.

Puede ocurrir que el hallazgo sean pocos huesos y muy fragmentados por lo que nos sea difícil discernir si son de origen humano o animal. En este caso para su diferenciación se han usado:

- a) Métodos histológicos. Estudiando la forma y el tamaño de los conductos de Havers.
- b) Estudio inmunológico. Es un método muy fiable para determinar si el hueso es de origen humano o animal. Para ello se preparan 2 gramos de harina de hueso que se macera con suero fisiológico a 4 °C durante 48 horas. Se filtra al cabo de ese tiempo y se pone en contacto con un suero antiproteínas humanas. Una reacción de floculación positiva o precipitación indica que se trata de un hueso humano.

Últimamente, en algunos laboratorios, se extrae ADN del hueso y se compara con ADN humano o de otros animales, dando el diagnóstico no sólo de si se trata de hueso animal, sino a qué animal pertenece.

2. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE INDIVIDUOS

Cuando se estudia una colección ósea, sea un enterramiento colectivo o una necrópolis antigua, se nos plantea el problema de diferenciar el número de individuos. Dependiendo del estado en el que se encuentren los huesos será una tarea más o menos complicada. Si los esqueletos están completos no vamos a tener ningún problema dado que podemos diferenciar perfectamente el número de cráneos, el de fémures izquierdos o derechos, o el de cualquier otro hueso que nos pueda servir de indicador. El problema se nos plantea cuando los esqueletos están incompletos, en cuyo caso va a ser difícil establecer el número exacto de cuerpos que se inhumaron, pudiendo establecer únicamente un número mínimo de individuos. Para ello tendremos en cuenta la cantidad de huesos individualizados que existan y si podemos establecer la asignación de sexo. Normalmente los huesos que van a conservarse mejor son los más robustos, el fémur sobre todo; si separamos los fémures derechos e izquierdos tendremos un número mínimo de individuos. Por ejemplo, si existen 20 fémures derechos y 25 izquierdos, podemos afirmar que al menos existen 25 individuos entre los restos que estudiamos. Este esquema se puede repetir con el resto de los huesos, y si en lugar de ser el fémur el hueso que más aparece se trata de la tibia, el húmero o cualquier otro, será éste el que tengamos en cuenta. Puede darse el caso de que los huesos estén muy fragmentados, y que dispongamos de extremidades distales, proximales, fragmentos diafisarios, etc. En esta situación

debemos separar lados derechos e izquierdos, si los conocemos, y establecer cuántas epífisis derechas o izquierdas existen de un mismo hueso y si podemos establecer el sexo. Por ejemplo, 5 epífisis proximales de tibia derecha (3 varones y 2 mujeres) y 4 epífisis proximales de tibia izquierda (1 varón y 3 mujeres), el número mínimo de individuos será 3 varones y 3 mujeres, es decir 6 individuos. La experiencia con estudios sistemáticos de necrópolis puede resultar fundamental en este punto.

3. DETERMINACIÓN DEL SEXO

Al hablar de dimorfismo sexual nos estamos refiriendo a las diferencias existentes en tamaño, estructura y apariencia entre machos y hembras de una determinada especie o subespecie de la misma edad.

Diversos factores influyen en la fiabilidad del diagnóstico del sexo en el esqueleto. Entre ellos destacan: la naturaleza frecuentemente fragmentaria o aislada de los restos, la edad, la variabilidad intrínseca y la ausencia de cualquier estándar real.

Esto nos plantea la disyuntiva entre subjetividad y objetividad, entre la descripción frente a la medición y entre la experiencia frente a la estandarización estadística.

Conforme aumenta la experiencia, se gana confianza en la habilidad para juzgar a simple vista el sexo de un esqueleto, de forma que el ojo entrenado puede sintetizar más rápidamente una amplia variedad de caracteres morfológicos que cualquier dispositivo métrico. No obstante, siempre se debe validar el argumento apoyándose en procedimientos métricos objetivos.

Dado que el carácter sexual secundario más destacado del esqueleto de una mujer adulta es la modificación del anillo pélvico para el parto, las diferencias existentes entre la pelvis de adultos de ambos sexos han sido citadas en todos los textos forenses como el mejor indicador sexual en el esqueleto.

El más simple de estos indicadores es un detalle observable en un hueso, como puede ser en el pubis la forma trapezoidal o la presencia del arco ventral. El siguiente tipo de indicador es la determinación de la dimensión simple de un hueso, como el diámetro de la cabeza del húmero. A fin de que dicha dimensión sea de utilidad para su aplicación forense, ha de haberse medido en un número adecuado de esqueletos de sexo documentado, y observadas las frecuencias de distribución a fin de mostrar por comparación la extensión del solapamiento. Sólo aquellos casos que se encuentren fuera de dicha zona de solapamiento podrán ser asignados a uno u otro sexo (habitualmente, aunque no siempre, las dimensiones mayores corresponderán a varones y las menores a mujeres).

Un indicador ligeramente más complicado es un índice, es decir, la relación entre dos dimensiones que expresa la forma de alguna parte de un hueso, por ejemplo la base del sacro. Las circunstancias que presiden la utilidad de un

índice para la atribución del sexo son esencialmente las mismas que para una dimensión simple. El resultado es nuevamente el mismo, el solapamiento en las distribuciones de los dos sexos, por lo que sólo los extremos de dichas distribuciones constituyen indicadores fiables del sexo.

Mucho más complicados de desarrollar y aplicar son los indicadores más recientemente introducidos, conocidos como funciones discriminantes, que habitualmente son utilizados para evaluar grupos de dimensiones. Aunque, como cabría esperar, la seguridad en la atribución mejora con el aumento del número de caracteres morfológicos evaluados, nunca se consigue completamente, es decir, nunca se puede tener el cien por cien de seguridad en que una pequeña fracción de esqueletos de sexo desconocido estén correctamente sexados, independientemente del número de caracteres considerados.

Las diferencias sexuales comienzan su desarrollo en el esqueleto antes del nacimiento. La amplitud de la escotadura ciática en la pelvis, que es uno de los caracteres más diferenciadores en la edad adulta, aumenta más rápidamente en las mujeres durante la etapa de crecimiento fetal. A lo largo del periodo de maduración el dimorfismo sexual se hace más marcado y los métodos antropológicos de estimación del sexo aumentan su fiabilidad. El hecho de que las mujeres crezcan más rápidamente y maduren más pronto hace necesario considerar la edad cuando se estima el sexo en individuos inmaduros.

En torno a los 18 años de edad, las diferencias sexuales están bien definidas en el esqueleto y las distinciones pueden efectuarse habitualmente con seguridad. Las diferencias significativas son de dos tipos: (1) de tamaño y (2) de forma, derivada de la función. En general, los huesos de los varones son más largos, más robustos y muestran relieves más rugosos que los de las mujeres. El cráneo y los huesos largos pueden aportar una información adicional.

La estimación del sexo a partir del cráneo no es tan precisa como la basada en la pelvis, pero puede ser útil en ausencia de datos de la pelvis.

Según Stewart, la atribución del sexo a partir del esqueleto completo, la pelvis adulta o un hueso iliaco, puede hacerse con un 90-95% de probabilidad de acierto; un 80% cuando sólo se hace a partir del cráneo, que puede incrementarse a un 90% si está presente la mandíbula.

Tradicionalmente, el cráneo es la estructura ósea más estudiada en antropología. La atribución del sexo a partir del cráneo se ha hecho sobre una base osteológica, de manera que ha predominado la descripción de rasgos morfológicos sobre las dimensiones (tamaños y proporciones).

De manera general, pueden establecerse las siguientes diferencias morfológicas entre ambos sexos:

- a) Protuberancias supraorbitarias. Están casi invariablemente más desarrolladas en el varón que en la mujer.
- b) Glabella. Habitualmente una glabella grande, bien desarrollada, es frecuentemente asociada con el varón.

- c) Apófisis mastoides. Son de mayor tamaño en el varón.
- d) Región occipital. Las líneas transversas son mucho más evidentes y la protuberancia occipital externa mucho más grande en el varón. Un hueso occipital relativamente liso es característico en la mujer. La base del cráneo muestra cóndilos occipitales más grandes y un foramen magno más grande en el varón. La porción basilar del occipital y el cuerpo del esfenoides son así mismo más grandes en el varón.
- e) Apertura nasal. En el varón suele ser más grande y estrecha y sus márgenes más agudos que redondeados. Los huesos nasales en el varón son más grandes y tienden a unirse en la línea media en un ángulo más pronunciado.
- f) Órbitas. En la mujer son más altas, más redondeadas y proporcionalmente más grandes en relación al esqueleto facial superior. Los márgenes orbitarios son más afilados, menos redondeados que en el varón.
- g) Pómulos. Más gruesos y robustos en los varones.
- h) Contorno craneal. En la mujer es más alto, más liso, más vertical y puede ser más redondeado en la proyección frontal; en general el patrón es más pedomórfico.
- i) Paladar. Habitualmente más grande y ancho en el varón.
- j) Mandíbula. En el varón es más grande y gruesa, con una mayor altura del cuerpo.

Aunque rebordes, crestas y protuberancias son más gruesos y prominentes en los varones que en las mujeres, dichas diferencias no son fácilmente cuantificables, de ahí que no sea posible establecer límites de tamaño para estos rasgos a fin de evaluar la separación entre ambos sexos. Con respecto a los huesos maxilares y el mentón, las diferencias morfológicas son elementos más evaluables que el tamaño. La forma del mentón es de particular ayuda, ya que uno cuadrangular es propio de un varón, mientras que los redondeados o angulosos lo son de mujer.

Pueden utilizarse funciones discriminantes para «calcular» el sexo. Éstas emplean medidas de individuos de sexo conocido para predecir el sexo de individuos desconocidos. Dado que la mayoría de las ecuaciones son específicas de una población, ha de tenerse cuidado a la hora de seleccionar aquella que sea más equiparable con las características del individuo desconocido.

Se han hecho algunas objeciones al uso de las funciones discriminantes. La mayoría de éstas surgen de la pregunta sobre si la muestra de la que se originan los cálculos estadísticos puede ser representativa de otras poblaciones. Debido a ello, se han desarrollado nuevos estudios en diferentes poblaciones.

Este abordaje se ha hecho más complejo a partir de la creación de un banco de datos forense. Los estándares definidos a partir de casos forenses identificados, incrementados con datos comparables de colecciones de museos, se introdujeron

en un banco de datos central. Un programa informático, Fordisc 1.0 (Ousley y Jantz, 1996), proporciona un sistema flexible, que permite al usuario emplear cualquiera de las medidas estándar disponibles para crear funciones discriminantes a la medida que clasifiquen a individuos desconocidos. Las ventajas para su aplicación forense son: la flexibilidad que permite incluso para un número mínimo de medidas, la procedencia forense de la muestra origen de la base de datos y la presentación de los resultados en forma estadística.

Un último tipo de estudio métrico es el que valora las diferencias de tamaño del foramen magno.

La determinación del sexo en restos fragmentados puede resultar difícil si carecemos de las estructuras que presentan un mayor dimorfismo sexual. En estos casos, el tamaño del foramen magno es un excelente indicador del sexo.

En general, las técnicas morfométricas son más sencillas de realizar y por tanto más fáciles de estandarizar, permitiendo la medida de parámetros imposibles de determinar con técnicas manuales. El error intra e interobservador es menor ya que su intervención es más limitada.

La determinación del sexo en el esqueleto postcraneal no suele representar problemas en la población adulta. En la población infantil y en casos de antropología forense deberemos realizar el estudio del sexo cromosómico mediante técnicas de ADN. De cualquier forma y en casos donde por cualquier motivo no sea posible utilizar esta técnica o también en los casos de estudio de una población histórica existen ciertas reglas que se pueden aplicar para hacernos una idea sobre la distribución de la población entre niñas y niños.

3.1 Determinación del sexo en niños mediante técnicas morfométricas

La mayoría de los estudios realizados para diferenciar niñas y niños desde su estadio fetal hasta la pubertad se han centrado en la pelvis. Krogman (1986) cita los estudios más importantes sobre el sexo en niños llegando a las siguientes conclusiones:

- Que existen diferencias significativas en el ángulo subpúbico de fetos de población blanca y negra americana.
- La anchura y profundidad de la escotadura ciática y su incremento con la edad presentaba también diferencias significativas entre ambos sexos.
- No se encontraron diferencias entre niños y niñas en el crecimiento del isquion o pubis con la edad, ni en el índice isquiopubiano, tanto si tenemos en cuenta el cartílago en la medida, como si no.
- Para la escotadura del ciático se establece el índice mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Índice EC} = \frac{\text{Anchura de la escotadura del ciático} \times 100}{\text{Profundidad de la escotadura}}$$

Se encuentran diferencias entre fetos masculinos y femeninos, siendo este índice mayor para el sexo femenino.

Posiblemente el trabajo de Shutkowski (1993) sobre una muestra de esqueletos de 37 niños y 24 niñas de edad y sexo conocidos sea el que nos proporciona más herramientas para poder discernir entre niños y niñas con cierta seguridad. La edad del grupo que estudió era de 0-5 años.

3.2 Diferencias sexuales en el postcráneo de los adultos

Como ya se ha comentado, en el caso del adulto las diferencias morfométricas por sí solas pueden establecer sin ningún género de duda el sexo. Los estudios que se han realizado en torno a estas determinaciones son muy elevados, existiendo en la mayoría de ellos un acuerdo en torno a cuáles son los rasgos que mejor diferencian los géneros. De estos rasgos la mayoría se acumulan en la pelvis.

Reverte (1991) recopila las principales características morfológicas postcraneales, que se exponen en la Tabla 1:

VARONES	MUJERES
Coxal mayor y más pesado	Coxal más pequeño y menos pesado
Ángulo de la escotadura ciática tiende a ser cerrado (en forma de V)	Ángulo de la escotadura ciática tiende a ser abierto (en forma de L)
Rama isquiopúbica ancha, fuerte, de más de 20 mm de anchura y algo evertida	La rama isquiopúbica es estrecha, grácil, evertida y de menos de 20 mm de altura
Pubis de forma triangular	Pubis de forma trapezoidal
Ángulo subpúbico agudo (65-70º)	Ángulo subpúbico abierto (90º o más)
Agujero obturador más ancho y ovalado	Agujero obturador más estrecho y triangular
Carita auricular más larga (60 mm)	Carita auricular más corta (50-55 mm)
Surco preauricular raro	Surco preauricular presente y muy profundo
Pelvis alargada (dolico pélica)	Pelvis tiende a ser corta (braquipélica)
Cresta ilíaca muy rugosa, debido a las fuertes inserciones musculares	Creta ilíaca poco rugosa
Tuberosidad isquiática más fuerte, gruesa y rugosa	Tuberosidad isquiática menos gruesa y rugosa
Promontorio menos abultado. Lordosis lumbosacra escasa o nula	Promontorio más abultado. Mayor acentuación de lordosis lumbosacra
Diámetro vertical de la cabeza femoral y humeral mide entre 47-48 mm	Diámetro vertical de la cabeza femoral y humeral mide entre 40-42 mm
Cabeza del radio suele medir más de 20 mm	Cabeza del radio suele medir menos de 20 mm

Tabla 1. Diferencias sexuales en postcráneo

Actualmente, existen estudios realizados en prácticamente todos los huesos que pueden servir como referencia a la hora de determinar el sexo de unos restos.

4. DETERMINACIÓN DE LA EDAD

Los huesos humanos se desarrollan a partir de una serie de centros separados de osificación y crecimiento. Una idea de la complejidad del proceso global de osificación nos la da el hecho de que a las 11 semanas de vida intrauterina, el ser humano posee más de 800 centros de crecimiento óseo, y unos 450 en el momento del nacimiento, mientras que el esqueleto adulto posee tan sólo 206 huesos. La desaparición de unos 600 centros desde la semana 11 de vida intrauterina hasta el momento del fin del crecimiento es debida a las uniones entre centros adyacentes de las que surgen los huesos adultos definitivos, tal como los conocemos. Este proceso de aparición y unión sigue, en el esqueleto humano normal, una secuencia y calendario claramente definidos, lo que le confiere una buena fiabilidad como elemento diagnóstico de la edad.

Con la excepción de los huesos intramembranosos del cráneo, los huesos del esqueleto son de origen endocondral, conformados primero en tejido cartilaginoso con la misma forma del hueso que se formará tras su reemplazo por tejido óseo. Un típico hueso largo, como la tibia por ejemplo, tiene 3 centros de crecimiento: 1 porción media o diáfisis, y 2 extremos o epífisis proximal y distal. A ambos extremos, entre la diáfisis y las epífisis, hay un disco de cartílago hialino (zona diafiso-epifisaria o metáfisis). Es en esta zona donde, de hecho, se produce el crecimiento longitudinal del hueso, hasta la unión definitiva de las epífisis con la diáfisis.

En el momento del nacimiento sólo 6 centros epifisarios están presentes: cabeza del húmero, cóndilos del fémur, epífisis proximal de la tibia, astrágalo, calcáneo y cuboides del tobillo.

En un principio, las epífisis son completamente amorfas, generalmente redondeadas, no más grandes que una cabeza de alfiler. Conforme avanza el crecimiento el hueso va adquiriendo su forma final, mostrando los detalles óseos de las estructuras que se van desarrollando (como por ejemplo los cóndilos del fémur).

4.1 Longitud de los huesos largos

Cuando los dientes están ausentes, la edad puede estimarse utilizando las longitudes de los huesos largos. Este método no es muy exacto porque los ritmos de crecimiento varían ampliamente entre poblaciones, e incluso entre individuos del mismo grupo social (considérese una clase de secundaria, por ejemplo). El error en la estimación se acrecienta por el hecho de que la mayoría de los datos han sido registrados a partir de niños vivos, mientras que las estimaciones prehistóricas se efectúan sobre huesos secos. Los estudios de crecimiento basados en restos esqueléticos se han limitado principalmente a material arqueológico cuya edad se ha deducido a partir de la dentición. Por lo tanto, una estimación de la edad derivada de la longitud de un hueso largo no sólo incluye los errores resultantes de la variabilidad en el crecimiento, sino también los errores incorporados en la estimación original de la edad basada en la dentición.

El tamaño de los huesos es especialmente útil para predecir la edad de fetos o de niños muy pequeños

Los estándares desarrollados por Fazekas y Kosa (1978) son especialmente valiosos, ya que se basan en 138 esqueletos fetales con un rango de edad desde el tercero al duodécimo mes lunar. Se han elaborado empleando 67 medidas sobre 37 huesos, incluyendo no solamente los componentes más importantes del esqueleto, sino también el cornete inferior, el vómer y los osículos del oído. Las medidas están claramente definidas y las ecuaciones de regresión aportan estimaciones de la longitud del cuerpo en centímetros que pueden convertirse a la edad fetal.

4.2 Aparición y unión de las epífisis

Hasta la pubertad las diáfisis de los huesos largos están separadas de las epífisis en ambos extremos (y a veces en ciertas estructuras de las diáfisis). En torno a la pubertad, las epífisis se unen con las diáfisis poniendo fin al crecimiento longitudinal del hueso y al aumento de la estatura. Como estas uniones tienen lugar en los distintos huesos en momentos diferentes, son útiles para estimar la edad especialmente entre los 10-20 años, cuando los datos de la dentición y longitud de los huesos ven limitados sus valores.

La evaluación de la unión epifisaria tiene lugar en 5 estadios:

0. Ausencia de unión
1. $\frac{1}{4}$ de unión
2. $\frac{1}{2}$ de unión
3. $\frac{3}{4}$ de unión
4. Unión completa

Sobre los 20 años de edad la mayoría de los dientes están completamente formados y erupcionados, la mayor parte de las epífisis se han unido y el crecimiento longitudinal de los huesos se ha completado. Debido a ello, han de emplearse otros criterios para estimar la edad en los adultos.

Grosso modo disponemos de 3 tipos de métodos: macroscópicos, microscópicos y bioquímicos. Los métodos macroscópicos son más rápidos y no requieren la destrucción de la muestra. Los métodos microscópicos y bioquímicos requieren más tiempo, equipamiento y conocimientos, y precisan una cierta destrucción, pero aportan resultados mucho más seguros.

Los principales cambios macroscópicos desarrollados con la edad que podemos observar en el esqueleto son: modificaciones de la superficie de la sínfisis del pubis; cierre y borrado de las suturas craneales; cambios degenerativos de la columna y articulaciones; reabsorción del hueso esponjoso y pérdida de dientes. La fiabilidad de las técnicas derivadas del estudio de dichos cambios no es uniforme, lo que exigirá en muchos casos realizar una estimación global de todas aquellas que podamos emplear, estimación en la que la experiencia contribuye de manera fundamental.

Los criterios macroscópicos proporcionan métodos útiles y rápidos de estimación de la edad en adultos, suficientemente fiables para efectuar clasificaciones en el yacimiento e informes preliminares sobre la correlación entre el método de enterramiento y la edad. Sin embargo, ciertos tipos de análisis demográficos requieren métodos más seguros, y los desarrollados hasta ahora utilizan los cambios microscópicos en la cortical de los huesos largos y en los dientes.

En resumen, los métodos elegidos para estimar la edad dependen de qué huesos estén disponibles, de la población que se crea representada y de la relativa fiabilidad de los resultados. A mayor número de procedimientos empleados, mayor seguridad se tendrá en la estimación.

5. DETERMINACIÓN DE LA TALLA

Altura de cualquier cuerpo u objeto es la medida de la elevación de ese cuerpo u objeto sobre la superficie de la tierra. En el caso particular del cuerpo humano la altura se denomina talla o estatura.

La talla de una persona es un parámetro biológico extremadamente variable, constituyendo, grosso modo, el tamaño de un individuo de pie. Por otra parte, en todos los grupos humanos la talla de la mujer suele ser inferior a la del hombre.

Debemos tener en cuenta que existen una serie de factores que pueden influir o modificar la talla, uno de ellos es la variación de la talla a lo largo del día en un mismo individuo, en función de la compresión de los discos intervertebrales. Esta variación tiene poca o nula importancia en la identificación de un individuo.

Un factor de error importante es la variación de la talla con la edad. En 1951 Trotter y Gleser, estudiando una muestra de 855 esqueletos de cadáveres americanos de la colección Terry, llegaron a la conclusión de que la reducción de la talla con la edad es uniforme para todos los grupos raciales y en ambos sexos. Calcularon que esta reducción es de 1,2 cm cada 20 años.

También debemos de tener en cuenta que la talla puede sufrir modificaciones debido a enfermedades que afecten al desarrollo del individuo hasta llegar a la edad adulta, es el caso de las cromosomopatías y ciertas enfermedades endocrinas; también sobre el esqueleto ya formado, como las patologías degenerativas osteoarticulares y las patologías traumáticas.

Existen variaciones entre diferentes poblaciones o razas. Cuando tratemos de establecer estas comparaciones debemos de realizarlas en sujetos de la misma edad y el mismo sexo.

5.1 Variación de la talla en la misma población

También la talla de los individuos dentro de una misma población no es una característica permanente en el tiempo a lo largo de sucesivas generaciones. A lo largo de este último siglo los cambios sociales sufridos por muchos grupos

poblacionales llevaron a un aumento en la tasa de crecimiento infantil y a la anticipación de la pubertad. Esto influyó en el adulto en el sentido de una mayor talla y una disminución de la edad a la que alcanza esa talla.

La influencia del nivel socioeconómico de un país en la talla de su población es un factor de importancia primordial, ya que las diferencias de tallas y grupos poblacionales tienden a borrarse cuando se incrementa el nivel económico del país.

5.2 Relación entre la talla y la longitud de los huesos largos

Existe una relación bien definida entre la talla de un individuo y la longitud de sus huesos largos, que se calcula en torno a 0,8. Esta proporcionalidad permite calcular la talla del individuo a partir de la medida de los huesos largos y será más precisa estadísticamente cuanto mayor número de medidas se tomen.

Para medir los huesos largos se utiliza una tabla osteométrica. Éste es un método clásico de la antropología que sigue siendo actual y aceptado en la actualidad.

La mayoría de los trabajos publicados se han realizado a partir de la toma de la talla en el cadáver y posterior medida de la longitud de los huesos. La pregunta que se plantea es: ¿la talla del sujeto vivo y la del cadáver es la misma? La respuesta según los autores consultados es: no. Así Krogman (1986) cita que Manouvrier en 1892 se dio cuenta de esta relación. Trotter y Gleser (1958) posteriormente la confirmaron estableciendo esta diferencia en 2,35 cm más en el cadáver que en el vivo. La explicación para este hecho estriba en el aplastamiento que los discos intervertebrales sufren en la posición bípeda en el vivo, y que en el cadáver no se observa.

Nunes (1998) en su tesis doctoral acerca del estudio de la talla explica los métodos matemáticos y anatómicos que existen para la determinación de la talla, tanto desde el punto de vista histórico como actual, y los problemas de determinación en niños y restos fragmentados. Al mismo tiempo, el trabajo de Nunes realizado sobre población portuguesa actual, nos proporciona unas tablas de referencia, muy valiosas, para la determinación de la talla a partir de la longitud del fémur y del húmero.

La determinación de la talla en niños y niñas presenta grandes problemas ya que está relacionada con la edad (que desconocemos) y el sexo. También la talla sufre en niños y jóvenes grandes variaciones en cortos espacios de tiempo, debido al crecimiento continuado.

Otra de las cuestiones que se plantea es la posibilidad de determinar la talla a partir de los fragmentos de huesos largos. Se han realizado diversos estudios. Nunes (1998) en su tesis utiliza también estudios sobre fémur y húmero en los que mide determinados fragmentos y señala la imposibilidad de conseguir un método fiable de determinación de la longitud total del hueso a partir de los fragmentos que estudia.

6. DATA DE LA MUERTE

En medicina legal y forense, cuando nos enfrentamos al estudio de unos restos óseos humanos, la primera pregunta que se nos plantea siempre es cuál es la data de la muerte. La información que podamos dar va a tener una importancia primordial para continuar la investigación o sencillamente considerar que esos restos sólo tienen valor histórico o arqueológico.

Diferentes autores han establecido esquemas basados en la evolución de las partes blandas del cadáver, pero el problema se plantea debido a la gran cantidad de factores que intervienen en la desaparición de las partes blandas del cadáver.

Otros autores se han ocupado de establecer técnicas que pudieran tener una mayor fiabilidad en la resolución de ese tipo de casos. Estas técnicas pueden resumirse en los siguientes puntos:

1. Estudio del contenido mineral
2. Estudio histológico
3. Reacción de la benzidina
4. Reacción al suero antihumano
5. Fluorescencia ultravioleta
6. Estudio termogravimétrico
7. Estudio del contenido de lípidos
8. Estudio del contenido de nitrógeno
9. Estudio del contenido de aminoácidos

Otras técnicas de datación que se aplican en los huesos aunque no con fines exclusivos antropológico-forenses son:

1. Datación por carbono-14
2. Racemización del ácido aspártico
3. Resonancia electrónica

En la actualidad no se dispone de ningún método de laboratorio contrastado y fiable para establecer la data de la muerte con fines antropológico-forenses, dado que los estudios citados adolecen de una falta en cuanto al número de muestras analizadas para que puedan aplicarse con fiabilidad, y otros métodos más contrastados son aplicables sólo con fines arqueológicos, debido al periodo de tiempo en el que se mueven.

7. DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS DE LA MUERTE

Cuando nos enfrentamos a la resolución de un caso de antropología forense, además de la identificación, si es posible se debe establecer la causa de la muerte. Esta es una cuestión que no siempre se puede resolver pero que hay que tener presente en nuestra investigación. Para ello debemos pensar

que los restos cadavéricos pueden aparecer completamente esqueletizados o también en avanzado estado de putrefacción, de tal forma que es el servicio de antropología forense el encargado de su estudio.

El estudio de la causa de la muerte cuando puede obtenerse es una de las tareas principales en la investigación antropológico-forense, y en ello debemos aplicar todas las técnicas y recursos de los que dispongamos. La conservación de los cadáveres (momificación, saponificación o conservación por frío) nos va a permitir en muchas ocasiones poder establecer este diagnóstico. En otras ocasiones serán las manifestaciones óseas macroscópicas, como pueden ser traumatismos, quemaduras, etc., y finalmente en aquellos casos que exista sospecha de envenenamiento por venenos minerales, debaremos extraerlos y cuantificarlos en los huesos cuando el cadáver se encuentre esqueletizado.

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE IMAGEN EN ANTROPOLOGÍA FORENSE

En el análisis de imagen con fines forenses podemos distinguir entre el cotejo retrato o cráneo-fotográfico y la reconstrucción de partes blandas.

1. COTEJO RETRATO O CRÁNEO-FOTOGRAFICO

En el primer caso, es decir, cuando disponemos del cráneo y del retrato o fotografía del individuo podemos distinguir tres etapas:

1. Anterior a la aparición de la fotografía. En ella se trata de identificar los cráneos de personajes famosos valiéndose de retratos, bustos, máscaras mortuorias o cualquier otro tipo de representación del sujeto en vida.
2. Aparición de la fotografía. La fotografía se introduce en el mundo forense de la mano de Bertillon, criminólogo francés que establece una serie de puntos característicos faciales para la identificación de los criminales. Con la aparición de la fotografía se realizan los primeros trabajos fidedignos de identificación forense mediante superposición cráneo-fotográfica.
3. Introducción de los ordenadores. Con la introducción del ordenador, la superposición cráneo-fotografía se agiliza y se intenta llegar a conclusiones de certeza en cuanto a identificación individual se refiere.

Vamos a revisar progresivamente cada uno de los puntos anteriores.

1.1 Etapa histórica

Los primeros trabajos precursores del actual estudio de análisis de imagen se remontan al siglo pasado y son un ejercicio de reconstrucción histórica. Iscan y Helmer (1993) citan a Wecker (1883) o His (1895) como precursores de

este tipo de estudios. Estos autores realizan un gran número de medidas de los tejidos blandos y establecen las primeras relaciones con los rasgos externos del individuo. Esta idea básica persiste hasta la actualidad.

Las conclusiones de estos métodos dependen de si el examinador puede realizar comparaciones con un retrato, un busto, una máscara mortuoria, etc. His en 1895 modela un busto en un molde de yeso a partir del cráneo de Juan Sebastián Bach, de acuerdo con las medidas de los tejidos blandos. Para establecer las características faciales usa alguno de los retratos que se creía que poseían las características más fiables de este personaje. Por esta vía His identifica el cráneo de Bach, determinado además en el esqueleto la edad, el sexo, la estatura y la data de la muerte.

Welcker, en esta misma época (1883), dibuja un contorno del cráneo y de la máscara mortuoria y los posiciona de forma que los dos contornos dibujados estén en una correspondencia exacta. De esta forma identifica el cráneo de Immanuel Kant.

Otro de los casos bien documentados es el estudio que realiza en 1926 Pearson sobre el cráneo de George Buchanan (humanista escocés del siglo XVII) y que es descrito por Krogman e Iscan (1986). El método que sigue Pearson es el siguiente:

1. Primero mide el cráneo de una forma cuidadosa y precisa, y lo compara con otros cráneos históricos y con una muestra de población contemporánea del siglo XVII. Basado en esta comparación, Pearson establece que Buchanan tenía un cráneo más pequeño que la media de las personas del siglo XVII.
2. El siguiente paso es la preparación de un dibujo del contorno craneal basado en las medidas.
 - a) Un contorno transverso y una fotografía del cráneo en vista facial.
 - b) Un contorno sagital y una fotografía del cráneo en visión lateral izquierda.
 - c) Un contorno horizontal y una fotografía del cráneo desde arriba.

La impresión general es que se trata de un cráneo ancho, con una bóveda craneal baja, una frente huidiza, un occipucio redondeado y un contorno oval pequeño visto desde arriba.

3. El paso siguiente y final es ver cómo este contorno craneal se superpone con un retrato conocido. Éste es el mayor problema, dado que el cráneo está orientado en los planos facial, lateral y superior, mientras que un retrato no está tan cuidadosamente orientado. Como regla general la visión facial es vista generalmente hacia un lado, el izquierdo o el derecho. Por lo tanto existe un problema de entrada para realizar una superposición precisa.

En este punto debemos decir que la superposición retrato-fotográfica es un fascinante ejercicio de historicidad, pero poco más, dado que los pintores muy a menudo favorecen en el retrato a la persona a la que pintan, con lo que deforman la métrica de la cara.

1.2 Aparición de la fotografía. Superposición cráneo-fotográfica

Existe un gran número de estudios que se realizan tratando de superponer un cráneo con la fotografía de una persona desaparecida. Vamos a revisar algunos de ellos que son históricos y otros actuales con nuestra propia técnica como otra opción para la superposición.

La dificultad reside en orientar el cráneo en la misma posición que tiene la fotografía. Ésta está casi siempre en un ángulo desviado, es decir, ni en visión facial ni en visión lateral estricta.

Krogman e Iscan (1986) exponen varios casos históricos en los que empezó a aplicarse esta técnica. Uno de los primeros según estos autores es el que expone Lander, en el que examina un caso de un esqueleto de edad, sexo y raza conocidos del que existía una fotografía en vida. Lander sólo en base a la inspección visual concluye que «parece bastante improbable que nadie examinando el cráneo postulara que existe un tipo similar de cara como el visto en la fotografía».

Prinsloo en 1953 usó fotografías de presumibles víctimas poniéndolas en relación con los rasgos craneales y consiguió unas comparaciones satisfactorias.

El caso mas famoso de comparación cráneo-fotográfica es el que realizaron Glaister y Brash en el caso Ruxton, que describe Smith (1961) y citan igualmente Krogman (1986) e Iscan y Helmer (1993).

En la descripción de este caso, Smith comienza con el siguiente párrafo: «a unos 3 kilómetros al norte de Moffats, en la carretera de Edimburgo a Carlisle, un puente cruza el Gordenholm Linn, pequeño afluente del río Annan. El domingo 29 de septiembre de 1935 una mujer que cruzaba este puente se paró a contemplar el correr del agua y en uno de los márgenes del río vio un brazo humano. La policía buscó y en un buen trecho del río recogió 70 trozos de restos humanos, que incluían dos cabezas y un tronco».

Con este hallazgo da comienzo una investigación que llevaría finalmente a la detención de Buck Ruxton, por el doble asesinato de Ysabella Ruxton, su mujer, y de Mary Rogerson, la doncella que cuidaba de sus hijos.

Desde nuestro punto de vista, lo que este caso tiene de novedoso es la utilización por parte de Glaister y Brash de la superposición cráneo-fotográfica, como método para establecer cuál era el cráneo perteneciente a la señora Ruxton y cuál a Mary Rogerson.

El método que emplean es el siguiente:

1. Realizan un dibujo del contorno de la fotografía y del cráneo en la misma posición de las dos mujeres.
2. Superponen ambos dibujos y ven los puntos de coincidencia.

Para validar su método, Glaister y Brash fotografían la cabeza de un cadáver y posteriormente el cráneo en la misma posición que tenían las fotografías de la señora Ruxton y Mary Rogerson, realizando el dibujo del contorno de ambos y mostrando cómo son coincidentes.

Los problemas que se plantean con este tipo de técnica son:

- a) Tamaño de la cabeza en la fotografía. Debemos tener algún objeto para comparar. En el caso Ruxton era una diadema que llevaba en la fotografía.
- b) Es difícil conseguir situar el cráneo en la misma posición que tiene la cabeza en la fotografía, los ángulos de rotación y la inclinación juegan un papel decisivo y sin instrumentos es difícil determinar la posición exacta.
- c) El tiempo necesario. Se necesita mucho tiempo para realizar estas técnicas de superposición debido a las veces que hay que repetir las fotografías en diferentes posiciones.

A partir de este trabajo de superposición cráneo-fotografía y hasta la introducción del ordenador, se siguen usando sistemas que son parecidos a este primero, aunque algunos con modificaciones que permiten una mayor comodidad a la hora de superponer, como es la proyección del cráneo en una fotografía, método que utilizan Grüner y Reinhart en 1959.

1.3 Introducción de los ordenadores

Iskan en 1980 llevó a cabo un gran número de superposiciones usando un video. En esta nueva técnica utiliza dos cámaras que captan una imagen del cráneo y una imagen de la fotografía, que lleva a un mismo tamaño y después mezcla. Este procedimiento se empezó colocando la fotografía en un panel y el cráneo en un trípode. Los ejes cámara-objeto se toman paralelos el uno al otro. El cráneo se orientó en la misma posición que la fotografía. Varias marcas, como nasion, márgenes infraorbitales, márgenes externos de las órbitas, dientes anteriores (cuando están presentes en la foto), se marcan en la fotografía y en el cráneo. Cuando es necesario la cámara se mueve sólo a lo largo del eje objeto-cámara. El proceso completo tarda alrededor de una hora y puede ser realizado por dos personas, una observando el monitor y la otra ajustando la orientación de las cámaras.

El desarrollo de esta técnica tropieza con dos dificultades principales: la orientación exacta del cráneo y la ampliación precisa de la imagen del rostro respecto a las dimensiones del cráneo. Muchos autores se han preocupado de la resolución de estos problemas y han publicado sus opiniones y resultados, así Chai *et al.* (1989) proponen resolver la exacta orientación del cráneo mediante la determinación de unos índices en la fotografía. Otros trabajos, como el de McKenna (1984), tratan de resolver este problema determinando las dimensiones dentales para determinar el factor de magnificación, aunque no siempre es posible. En ocasiones se ha recurrido a la distancia interpupilar de una segunda persona (Loh y Chao, 1989).

Otros autores diseñan un equipo para la realización de las fotografías craneales necesarias para el cotejo (McKenna, 1988; Brocklebank y Hollmgren, 1989). Pesce Delfino (1986) propuso la evaluación de la congruencia de una superposición mediante un método ayudado por ordenador.

Finalmente, en el campo judicial, estas técnicas que utilizan la videosuperposición, hay que señalar a algunos autores (Iten, 1987; Helmer, 1987) que han alcanzado en algunos casos resultados satisfactorios.

La flexibilidad, las variaciones y las limitaciones de esta técnica son comentadas también por otros autores como Bastiaan (1986).

En el Departamento de Medicina Legal de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid, utilizábamos inicialmente un analizador de imagen (Vidas Kontron) con el que tenemos experiencia en este tipo de trabajos. El analizador de imágenes está diseñado para medir dimensiones espaciales y la densidad de gris de una imagen tomada mediante cámara de video; asimismo, permite el conteo automático de objetos por campo. Su *hardware* consta de un ordenador AT, con dos monitores de color, tabla digitalizadora e impresora, y además está conectado a una cámara de video que permite la introducción de imágenes para su manejo. Ésta puede acoplarse a un microscopio y, de hecho, su principal aplicación es en el campo de la histología así como en el estudio de materiales.

El *software* Vidas permite al usuario establecer sus propios programas de ejecución sucesiva de funciones; de esta manera, se pueden elegir las más apropiadas al estudio que se plantea. Así, su versatilidad abarca muchas más aplicaciones que las mencionadas, y entre ellas la que hemos desarrollado en este laboratorio.

Nuestro método permite superponer una imagen de vídeo en directo del cráneo y una imagen delineada de la fotografía; además se pueden practicar múltiples intentos de adaptación.

Mediante las funciones *TV on line* e *input* se introduce una imagen de la fotografía del sujeto posible. Mediante el grupo de funciones edit se trazan una serie de líneas que coincidan con accidentes relevantes del rostro con correspondencia en el cráneo. Las líneas que con más frecuencia se seleccionan son la horizontal supraciliar, la horizontal de ambos ectocantios, la horizontal subnasal y la horizontal por ambos ectoqueilios.

Se fija en la memoria la imagen y después mediante la función *section aling* podemos visualizar el cráneo colocado bajo la cámara y la imagen de la fotografía. Cuando están alineadas y del mismo tamaño grabamos en una memoria diferente la imagen del cráneo. Finalmente, a través de la función *combine* podemos combinar ambas imágenes, la de la fotografía y la del cráneo, y así obtener una superposición definitiva. Siguiendo el mismo procedimiento se puede obtener la superposición en el caso de dientes aislados o en grupo para comprobar que se superponen o no con la fotografía del individuo probable. Sobre este último punto de superposición de dientes se citan varios casos en el libro de Moya, Roldán y Sánchez (1994).

Con esta técnica se han conseguido solventar algunos de los problemas que exponíamos anteriormente, como es el tiempo necesario para realizar la superposición, que se reduce extraordinariamente con los métodos análisis

de imagen a través del ordenador. Igualmente se gana en fiabilidad, aunque siguen existiendo problemas para llegar a la completa identificación positiva de una persona.

Uno de estos problemas es la fotografía que recibimos para establecer la comparación. Normalmente esta fotografía ha sido tomada en unas condiciones que desconocemos: tipo de cámara, luz, tiempo de exposición, ángulo de inclinación, expresión y posición del individuo, etc. También las imágenes recogidas en una cámara de vídeo tienen el problema de ser de difícil delimitación, además de no tomarse normalmente en buenas condiciones de luz, posición, etc.

La fisonomía del individuo también influye en la fiabilidad de la superposición, ya que la expresión facial, el estilo del peinado, la cantidad de pelo, la existencia de barba, la existencia o pérdida de dientes, etc. pueden influir negativamente en su identificación.

La edad que tenía el individuo al tomarse la fotografía, si es antigua, puede que acentúe las diferencias en algunos aspectos, como nariz, oídos... En caso de haber padecido un traumatismo, puede modificarse su aspecto. Alteraciones por cirugía plástica, utilización de gafas o cualquier otra modificación de la cara pueden representar un inconveniente para realizar la superposición.

Debemos señalar finalmente que la mayoría de las veces conseguiremos un diagnóstico negativo de superposición, es decir, señalar que la fotografía y el cráneo no son coincidentes. Mas difícil es conseguir una identificación positiva, y siempre que creamos que lo es, debemos corroborarlo con otros datos que nos confirmen dicha identificación (Figura 7).



Figura 7. Superposición en el laboratorio con la técnica descrita

2. RECONSTRUCCIÓN DE PARTES BLANDAS

Si disponemos del cráneo de un individuo y tratamos de identificar a quién perteneció en vida y no tenemos fotografías con las que cotejarlo, sólo queda como solución tratar de reconstruir las partes blandas.

Los primeros trabajos en este sentido son los ya citados de His en 1885. His utilizó una aguja con un tope de goma, que introducía en ángulo recto en determinados puntos hasta que ésta chocaba con el hueso. La goma se desplazaba y, con ello, conseguía medir el grosor de las partes blandas.

Kollman y Buchly en 1898 ampliaron el trabajo de His también en cadáveres y establecieron 4 categorías de individuos: delgados, muy delgados, gruesos y muy gruesos. De acuerdo con esto establecen una serie de medidas de grosores de tejido dividido en varón medio (muy delgado y bien alimentado) y mujer media (delgada y bien alimentada), junto con las desviaciones mínima y máxima para ambos sexos.

Otros autores utilizan este mismo método determinan el grosor de las partes blandas en negros americanos, melanesios, papúas y japoneses.

Altemus (1963) toma la medida del grosor de las partes blandas utilizando radiografías en posición lateral en niños americanos negros entre 12-16 años y establece sus propias medidas.

Krogman (1986) cita una serie de reglas empíricas que pueden ayudar a establecer las proporciones de la cara. Estas reglas, así como la reconstrucción bidimensional (reconstrucción de las partes blandas a partir del cráneo sobre un perfil frontal y uno lateral), se encuentran pormenorizadas en la obra de Krogman, a la que remitimos a aquellos lectores que tengan interés en conocerlas.

Actualmente, y contando con la técnica de escaneo en 3D, nos encontramos con ciertos interrogantes a la hora de reconstruir las partes blandas del cráneo; debemos conocer los espesores faciales que debemos aplicar en según qué puntos de la cara, aceptando que la distribución de dichos espesores faciales son diferentes en distintas poblaciones, y que dentro de una misma población son diferentes en función del sexo y del IMC (índice de masa corporal) del individuo. Una vez superada esta fase, nos encontramos con otra aún más complicada: se trata de la colocación de las diferentes estructuras de la cara, siempre en función del cráneo, ya que es lo único que tenemos. Nos referimos a la colocación de la nariz, los ojos, las orejas y la boca a partir de la información que nos aportan las diferentes estructuras del cráneo, como ya hemos mencionado.

3. OTRAS APLICACIONES

La posibilidad de discriminación a través de densidades de gris de la imagen y de realizar cualquier medida sobre la parte de la imagen discriminada hacen también muy útil el análisis de imagen aplicado a ciertas estructuras óseas (macro o microscópicas); así en el primer caso se han realizado algunos trabajos sobre métrica y morfología dental.

Sánchez y Gómez (1989) realizan un estudio sobre el agujero obturador en el hueso coxal, tratando de establecer si existe una relación entre el factor forma (elíptico y circular) y el sexo del individuo, no encontrando una relación significativa. Roldán (1989), utilizando el análisis de imagen, mide área, perímetro y diámetro máximo y mínimo en incisivos, caninos y premolares y llega a la conclusión de que el área de los caninos es la que mejor discrimina desde el punto de vista del sexo del sujeto. López-Nicolás (1991) estudia mediante un analizador de imagen, IBAS I, los incisivos centrales que previamente secciona, analizando los siguientes parámetros: radio de la corona a nivel del cuello, radio de la raíz a una distancia equidistante entre el cuello y la punta de la raíz, anchura de la pulpa a esta altura y distancia entre el final de la pulpa y el foramen apical. Estas áreas incluyen dentina secundaria, transparencia de la raíz, área pulpar completa, área pulpar desde el apex hasta el límite de la pulpa en la unión amelo-cementaria, reabsorción radicular, anchura del cemento, área ideal de la corona y atrición de la corona. A partir de este estudio, obtiene que las variables que tienen mejor significación con respecto a la edad son: grosor de la pulpa a nivel de la unión amelo-cementaria, grosor de la dentina secundaria, transparencia de la raíz, área total de la pulpa, longitud de la corona y unión del ligamento periodontal. Posteriormente, este mismo autor y Luna (1991) estudian 72 dientes humanos (incisivos y caninos) y, aunque los resultados no son concluyentes, señalan que el uso del analizador de imágenes es una técnica que puede eliminar la subjetividad de las determinaciones que se realizan por métodos de observación directa.

Jiménez (1994) estudia una muestra de 55 cráneos, 28 varones y 27 mujeres, y establece el siguiente protocolo:

PLANO	NORMA
Vertical o superior	Vertical o superior
Lateral	Lateral
Occipital	Occipital
Agujero occipital	Basal
Facial	Facial
Orbital derecha	Facial
Orbital izquierda	Facial
Nasal	Facial

Una vez seleccionados los planos, los estudia con un analizador de imagen IBAS II y se introducen como variables a tener en cuenta: área, perímetro y diámetro máximo y mínimo de los planos señalados. Después de medir estas variables y de realizar un estudio estadístico analítico mediante un test de homogeneidad para estimar la significación estadística ($p < 0,01$) de las diferencias de las distintas variables en relación con el sexo, llega a las siguientes conclusiones:

- En los planos vertical, lateral, occipital y basal, las 4 variables estudiadas presentan unas diferencias estadísticamente significativas en relación al sexo.
- En el plano agujero occipital son estadísticamente significativos para el sexo el perímetro y diámetro mínimo.
- En el plano facial existe diferencia significativa con respecto al sexo en la medida del área.
- En los planos órbita derecha e izquierda no existen diferencias significativas.
- En el plano nasal, tanto el perímetro como el diámetro máximo presentan diferencias estadísticamente significativas.

Tras este estudio Jiménez concluye que, comparando los aciertos obtenidos utilizando el análisis de imagen en la determinación del sexo, son en general superiores al 80% y que, cuando se combinan las medidas de los planos occipital y basal y del agujero occipital y facial, los aciertos ascienden al 91,66%; con los planos lateral y basal combinados los aciertos son del 90,62%.

También en el terreno de las mediciones microscópicas se ha realizado una tesis (Prieto, 1993) en la que se estudia un total de 60 muestras (37 varones y 23 mujeres), a partir de autopsias de cadáveres judiciales de sujetos cuya edad no superaba los 20 años. El lugar de la extracción de la muestra es la cresta ilíaca derecha, interesando a la cortical y a la medular. Tras la fijación, corte y tinción, somete a las muestras a un completo análisis histomorfométrico (recuento de osteoclastos, medición de anchura de los ribetes de osteoide, longitud total de osteoide, osteoblástica, de reabsorción, de reabsorción activa, perímetro trabecular, área medular, trabecular, de osteoide, volumen trabecular, volumen de osteoide, superficie osteoblástica activa, superficie relativa de osteoide con osteoblastos cúbicos, superficie relativa de absorción, superficie relativa de reabsorción activa, superficie específica de hueso trabecular, índice osteoclástico, anchura media de los ribetes trabeculares de osteoide, espesor medio de los ribetes de osteoide, índice de espesor trabecular e índice de espesor medio de unidades estructurales trabeculares) mediante el analizador de imagen Videoplan (Kontron), y concluye que el método que propone es un método válido para la determinación de la edad en restos óseos infanto-juveniles, siendo las variables: volumen trabecular, superficie específica de hueso trabecular, índice de espesor trabecular e índice de espesor medio de las unidades estructurales trabeculares las que mejor comportamiento tienen tras la aplicación de regresión lineal múltiple y aconseja, dada la mayor facilidad y sencillez de obtención de las variables, volumen trabecular e índice de espesor medio de las unidades estructurales trabeculares, utilizar estas últimas.

Sánchez Pérez (1994) realiza su tesis doctoral sobre una muestra de 368 neonatos del Hospital Clínico de Madrid y aplica un programa de análisis histomorfométrico con Videoplan sobre radiografías de centros de osificación

de tibia, peroné y núcleos del tarso y de la rodilla, en los que estudia área, perímetro, diámetro máximo y mínimo y factor circular y elíptico.

En sus conclusiones establece la dificultad de determinar la edad gestacional sólo en base a la presencia o ausencia de los núcleos de osificación, y que la mejor relación edad gestacional y variables óseas se obtiene con la longitud total de la tibia, siendo el diámetro mínimo del calcáneo la más alta si sólo se consideran las variables de los núcleos de la rodilla y el tarso.

4. ANÁLISIS DE IMAGEN TRIDIMENSIONAL

Desde hace una década se vienen realizando también análisis de imagen en 3D. Ya mencionamos anteriormente los escáneres en 3D con objeto de aplicarlo a los estudios antropológicos forenses, así como a estudios arqueológicos e históricos. Así se recogen trabajos como los de Hildbolt *et al.* (1990), que realizan un estudio sobre la viabilidad del análisis tomográfico para la reconstrucción tridimensional de imágenes del cráneo con el fin de establecer a partir de ellas la métrica craneal con alto grado de precisión.

Melcher *et al.* (1997) aplican la tomografía computarizada para el estudio tridimensional de los dientes de una momia egipcia de 2.800 años de antigüedad, que padecía una enfermedad dental. Mediante esta metodología consiguen hacer un extenso estudio de la dentición de la momia sin necesidad de aplicar un método invasivo y destructor sobre el espécimen.

Ponce y Zolliker (1999) realizan la reconstrucción tridimensional de un cráneo neandertal (Le Moustier 1) y señalan que los resultados de dicha reconstrucción se acercan a la imagen típica de un neandertal adulto.

Sharom *et al.* presentan en 1996 un caso de reconstrucción y de superposición cráneo-fotográfica usando un escáner 3D.

Miyasaka *et al.* (1995) y Tyrrel *et al.* (1997) utilizan la reconstrucción tridimensional con escáner 3D con vistas a la identificación forense.

Ackerman (1997) aboga por la conservación de imágenes digitalizadas de huesos. Con este método, el autor subraya la importancia que puede tener una base de datos de estas características, a la que se puede acceder para cualquier tipo de estudio poblacional.

Recheis *et al.*, en su artículo sobre nuevas técnicas en antropología (1999), exponen las técnicas de reconstrucción tridimensional mediante tomografía combinada con análisis computarizado, que se han usado para la reconstrucción del hombre de las nieves, representantes del *Homo australopithecus*, *Homo neanderthalensis* y *Homo heidelbergensis*.

Recientemente se han realizado 3 tesis doctorales que también enfocan el quehacer de la antropología y la paleopatología desde la perspectiva del análisis de imagen computarizado: en Granada, Martínez (1999) estudia la aplicación del análisis histomorfométrico del diente humano a la estimación de la edad, tanto

en dientes exodonciados como en los procedentes de restos esqueletizados; en Zaragoza, Baena (2001) propone la medida de la densitometría ósea para el estudio de la data de los restos óseos; y en Madrid, Moreno (2001) propone una serie de técnicas de medidas de densidad de gris en radiografías de fémur y húmero en relación con la edad (Figura 8).

En toda esta serie de trabajos se han estudiado densidades de gris y parámetros como área, perímetro, diámetro, factor, forma circular y elíptica, y cualquier otra medida que se pueda implementar desde el punto de vista matemático, lo que hace que esta técnica nos proporcione medidas que serían imposibles de obtener manualmente.

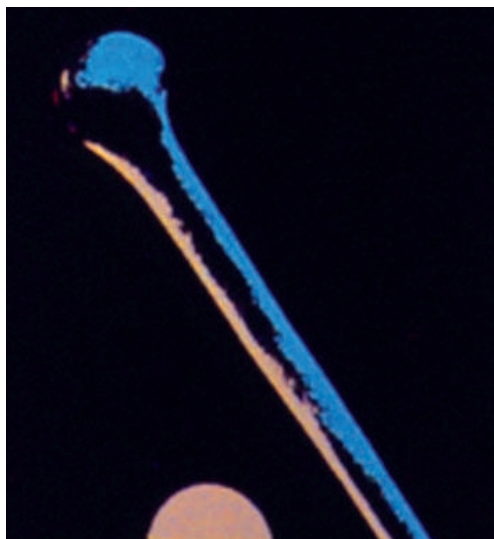


Figura 8. Medidas de densidad en radiografías de fémur y húmero

La gran asignatura pendiente que tenemos en lo que a la superposición cráneo-fotográfica y reconstrucción facial de partes blandas se refiere, es la utilización de estas técnicas en la identificación de cadáveres con fines judiciales y con una fiabilidad del 100%.

EL INFORME ANTROPOLÓGICO FORENSE

El informe antropológico forense es el objetivo final del trabajo de investigación realizado y es una variedad de informe pericial.

El informe pericial es un documento confeccionado por uno o varios peritos acerca de hechos, circunstancias o condiciones personales inherentes al hecho punible, conocidos dentro del proceso, para lo cual es necesario poseer determinados conocimientos específicos.

Se establecen dos tipos de peritos, los titulados y los no titulados, pudiendo ser peritos de parte o designados judicialmente.

El perito debe reunir las siguientes cualidades:

1. Objetividad
2. Sentido común
3. Imparcialidad

El informe antropológico forense debe tener apoyo científico y debe reflejar los estudios que se han realizado sobre los restos, los datos que se han obtenido a partir de dichos estudios, la valoración de los datos obtenidos y las conclusiones finales.

Partes del informe antropológico forense:

1. Introducción o preámbulo
2. Material y métodos o exposición
3. Estudios y resultados
4. Discusión o valoración
5. Conclusiones
6. Apéndices y anexos
7. Bibliografía

En la introducción o preámbulo deben constar los datos de la/s persona/s o institución que realiza el informe, los datos de la persona o autoridad judicial que lo solicita, el asunto que trata, los antecedentes de los que se disponen, el lugar donde se va a realizar el estudio y el objetivo del informe.

En la exposición se realiza la descripción de la muestra que se va a estudiar, el tratamiento previo al que la sometemos (por ejemplo limpieza), se hace una descripción particularizada o inventario de la misma y la descripción de el/los trabajo/s realizados.

A continuación hacemos una valoración o discusión de los resultados obtenidos, para posteriormente establecer las conclusiones, éstas deben ser ordenadas, sintéticas, claras, deben ser breves y responder a los objetivos marcados inicialmente.

Se pueden y deben poner tantos apéndices o anexos como se consideren oportunos, siendo los apéndices cualquier documento o información proporcionada por el autor del informe para complementar, ampliar o ilustrar lo expuesto en el cuerpo del mismo, y los anexos informes parciales o especializados complementarios.

A continuación se debe incluir la bibliografía, con las reseñas bibliográficas que se mencionen en el informe, ordenadas por orden alfabético.

Se finaliza el informe poniendo el lugar y la fecha de emisión, la firma del especialista y el sello de la institución si procede.

CONCLUSIONES

De lo anteriormente expuesto, podemos concluir:

- La antropología forense es una rama de las Ciencias Forenses que tiene como finalidad aportar los datos necesarios a la Justicia en la resolución de casos que tienen como objeto de estudio el cadáver humano en proceso de esqueletización o esqueletizado.
- La antropología forense dispone de sus propios protocolos y métodos para la realización de los estudios que competen a su área.
- Los métodos utilizados en antropología forense tienen como primera finalidad establecer: especie, raza, sexo, edad y talla, cuando nos encontramos ante unos restos óseos desconocidos.
- Otra de las técnicas de gran importancia en el campo de la antropología forense es el establecimiento de la data de la muerte, del que se adolece de métodos fiables, dado que uno de los puntos de mayor interés, según nuestra legislación, es el establecer si unos restos tienen más o menos de 20 años de antigüedad.
- Finalmente, señalar que a nivel internacional esta disciplina se está asentando como ciencia que, manteniendo su nexo de unión con la medicina legal y forense, tiene su propio ámbito de actuación.

2

ODONTOESTOMATOLOGÍA FORENSE. EL PAPEL DEL ODONTÓLOGO EN LA INVESTIGACIÓN CRIMINAL

Elena Labajo González

*Profesora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria. Sección Odontología
Forense. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid*

Bernardo Perea Pérez

*Secretario Académico de la Escuela de Medicina Legal y Forense.
Universidad Complutense de Madrid*

«Somos seres frágiles y tiernos y nos llama la atención que tras la muerte y digestión del cuerpo por el fuego, el agua o la tierra, los dientes permanecen. Sea que hay algo inmortal en nosotros.»

(PAUL BRAMI. *La boca simbólica*)

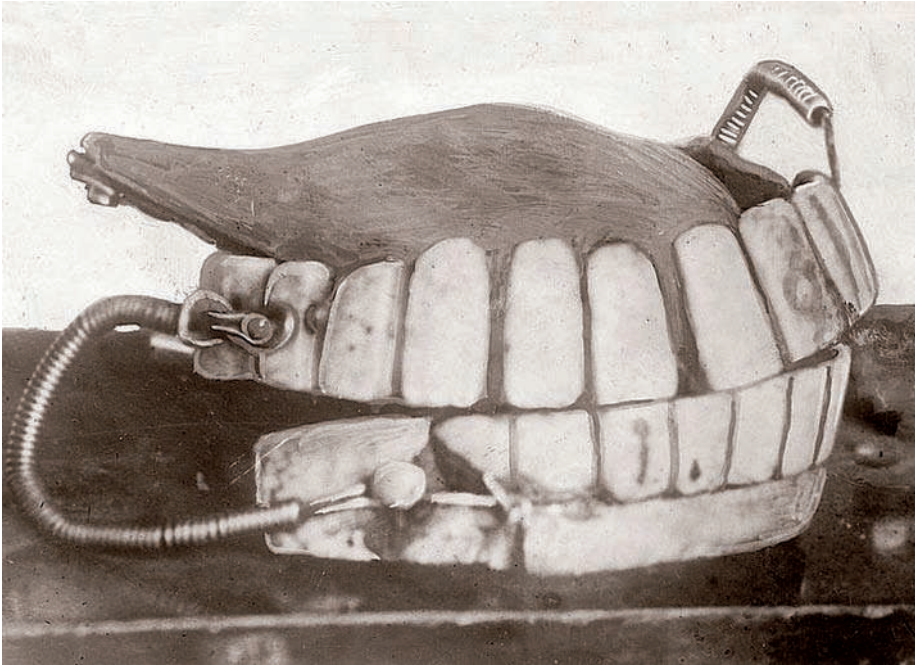


Figura 1. *Dentadura de George Washington*

INTRODUCCIÓN A LA ODONTOESTOMATOLOGÍA FORENSE

1. DEFINICIÓN

La odontología forense es la ciencia que auxilia a la Jurisprudencia resolviendo cuestiones que se le presentan a la misma relacionadas con el ámbito de la odontoestomatología. Junto con la odontología legal, son las dos maneras mediante las que se relacionan bidireccionalmente el derecho y la odontología.

2. COMPETENCIAS

La principal competencia de la odontología forense es la identificación de personas mediante métodos odontoestomatológicos, aunque también figuran entre sus cometidos la resolución de hechos, la valoración del daño bucodental, el estudio de la simulación de lesiones odontológicas, y la aproximación a las características antropológicas y hábitos culturales y nutricionales a través del estudio de los dientes.

3. HISTORIA

El estudio de los dientes con fines necroidentificativos está ampliamente documentado a través de la historia. El primer caso con constancia escrita es el de la identificación dental de Lolia Paulina por Agripina, madre de Nerón, relatado por Dion Casio en la Roma antigua.

Los primeros métodos de identificación dental se basaban exclusivamente en caracteres morfológicos del individuo, y distaban mucho de la fiabilidad de los métodos utilizados hoy en día. Con la invención de la fotografía por Niepce y Daguerre (1829), la aplicación de los estudios antropométricos (mediciones craneales y corporales, marcas individuales, tatuajes, cicatrices y características personales del sospechoso) al *portrait parlé* o «retrato hablado» de Bertillon (1882), y el descubrimiento de los rayos X por Röntgen (1895), se revolucionan tanto la necroidentificación como la odontología forense.

Con los datos recogidos en las identificaciones dentales realizadas en la catástrofe del Bazar de la Caridad (París, 1897), Oscar Amoedo escribe *L'art Dentaire en Médecine Forense* (1898), por lo que es considerado el padre de la odontología forense. Si bien ésta no es considerada Ciencia Forense hasta el I Congreso Panamericano de Medicina y Odontología Legal y Criminología (La Habana, 1946). Desde entonces, los descubrimientos, metodologías y técnicas en esta disciplina no han dejado de avanzar.

Una de las áreas con más futuro de la odontología forense radica sin duda en los estudios genéticos y el análisis del ADN dental.

INVESTIGACIÓN EN EL LUGAR DEL HALLAZGO. EL PAPEL DEL ODONTÓLOGO FORENSE EN EL LEVANTAMIENTO

La investigación del cadáver se desarrolla en 2 etapas: levantamiento e investigación en el laboratorio, en las que debe observarse el método de forma rigurosa para alcanzar la identificación positiva. En estas dos etapas, el papel del odontoestomatólogo es fundamental ya que la investigación exhaustiva y especializada del cadáver y todo lo que le rodea facilita la identificación y el esclarecimiento de las circunstancias del fallecimiento.

En el lugar del levantamiento, el odontoestomatólogo puede determinar lesiones odontoestomatológicas ante, peri y postmortem; determinar pérdidas dentales postmortem que obligarían la búsqueda de piezas dentales en el lugar del hallazgo; clasificar e individualizar piezas dentales localizadas en el mismo, determinar lesiones por mordeduras; etc.

En el estudio del laboratorio, el odontoestomatólogo forense estudiará las piezas dentales aisladas localizadas en el lugar del hallazgo, y las individualizará, para posteriormente realizar un odontograma postmortem. Con el cotejo de un odontograma postmortem y un odontograma antemortem, así como el cotejo

radiológico dental, el odontostomatólogo podrá determinar en ocasiones la identidad del individuo.

La complejidad de la identificación mediante elementos dentarios hace necesaria la inclusión en los equipos de investigación criminal, de odontólogos forenses experimentados en el campo de la necroidentificación.

ANTROPOLOGÍA DENTAL

La odontología forense juega un papel cada día más importante en la investigación criminal y médico-legal, histórica y arqueológica, y en concreto, en los procedimientos de necroidentificación, tanto con carácter individual, como en situaciones con un elevado número de víctimas como los desastres de masas y las grandes catástrofes, constituyendo un método óptimo de identificación por su bajo coste y su capacidad para ofrecer resultados inmediatos y fiables.

Cuando estudiamos unos restos humanos con fines identificativos, el objetivo último de nuestro estudio es establecer la identidad del individuo, es decir, el conjunto de rasgos personales y características individuales que le hacen diferente de los demás.

Los rasgos de identidad pueden clasificarse en dos grupos:

- a) Rasgos genéricos o de identificación reconstructiva: son los que permiten una identificación genérica del individuo (edad, sexo, raza, etc.).
- b) Rasgos individualizadores o de identificación comparativa: son aquellos elementos específicos que permiten confirmar o descartar la identidad mediante una comparación o cotejo de registros indubitados antemortem y registros dubitados postmortem.

En función de esta clasificación, encontraremos entre los métodos de identificación: métodos odontológicos genéricos (que permiten la identificación de rasgos genéricos del individuo), como por ejemplo, la odontometría y el estudio de los caracteres dentales no métricos; métodos complementarios (métodos de identificación comparativa que no permiten por sí mismos el diagnóstico identificativo de certeza, sino que precisan de la aplicación de otro método para la individualización); y métodos individualizadores, como son el cotejo de incidencias dentarias, el estudio de las prótesis, la radiología oral, la superposición dentofotográfica y el estudio del ADN dental.

1. IMPORTANCIA DEL DIENTE COMO REGISTRO ANTROPOLÓGICO Y NECROIDENTIFICATIVO

El diente presenta una serie de características que lo hacen idóneo como registro para los estudios forenses:

- Resistencia de los dientes a los agentes físicos, químicos, biológicos, taxonómicos y al paso del tiempo (los dientes presentan un grado de

- mineralización del 95% (esmalte) al 80% (dentina), frente al tejido óseo, en torno al 70%).
- Accesibilidad del aparato estomatognático.
 - Estabilidad de los dientes frente a otros tejidos con un recambio o *turn-over* más activo.
 - La dentición presenta patrones de hereditabilidad (agenesias y dientes supernumerarios, tamaño dental, disposición orográfica, número de raíces y cúspides, morfología general, posición relativa de los dientes en la arcada, relación interarcadas, etc.).
 - Diversidad y variabilidad que determinan la individualidad del aparato estomatognático.
 - Individualidad de los tratamientos dentales.
 - Del diente se pueden estudiar tanto caracteres dentales métricos como discretos.
 - Los dientes pueden presentar modificaciones, intencionales o no, que nos orienten en la identificación.

2. SISTEMAS DE NOTACIÓN DENTARIA

La dentición temporal humana consta de 20 dientes de leche, caducos o deciduos, y la permanente de 32 dientes definitivos. La dentición temporal tiene en cada hemiarcada, desde la línea media hacia la distal: incisivo central y lateral, canino, primer y segundo molar. La dentición permanente tiene en cada hemiarcada desde la línea media hacia la distal: incisivo central y lateral, canino, primer y segundo premolar, primer, segundo y tercer molar.

Con el fin de facilitar la identificación de cada uno de los dientes en nuestros registros, así como el intercambio de información, se han descrito diversos sistemas de nomenclatura o notación dentaria, los más utilizados son los siguientes:

2.1 Sistema de la Federación Dental Internacional (FDI) o dígito 2

Es el método más empleado en la actualidad y elegido por la Interpol en los formularios de identificación de víctimas de desastres. Con sólo 2 dígitos sabemos con certeza de qué diente se trata y qué posición ocupa en la arcada. El primer dígito representa el cuadrante en el que se encuentra el diente. Los cuadrantes se enumeran de 1-4 siguiendo el sentido de las agujas del reloj. En dentición temporal los cuadrantes se enumeran de 5-8. El segundo dígito define la posición del diente en la hemiarcada. Los dientes se enumeran desde el mesial (1) hacia el extremo distal de la hemiarcada (5 en dentición temporal, 8 en dentición permanente). Ejemplo: canino inferior derecho permanente γ 4.3.

2.2 Sistema de la Asociación Dental Americana (ADA), sistema Palmer o sistema universal

Es de uso mayoritario en Estados Unidos. Los dientes se enumeran desde el tercer molar superior derecho (1) siguiendo el sentido de las agujas del reloj hasta el tercer molar inferior derecho (32). En dentición temporal, los dientes se notan de la misma manera utilizando las letras del alfabeto de A-T. Ejemplo: primer molar inferior izquierdo permanente γ 3.4.

2.3 Sistema de cuadrantes de Zsigmondi

Es similar al sistema dígito 2. Los cuadrantes se representan mediante un símbolo (ángulo recto cuya orientación indica el cuadrante). El segundo dígito define la posición del diente en la hemiarcada. Los dientes permanentes se enumeran desde el mesial hacia la distal de 1-8. En dentición temporal se sustituyen los números por las letras minúsculas de a-e. Ejemplo: tercer molar inferior izquierdo γ ∞ 8.

2.4 Método de Haderup o de la máquina de escribir

Utiliza el sistema numérico-alfabético de Zsigmondi (permanentes 1-8, temporales a-e) utilizando los signos + y - para significar tanto la arcada (+ superior, - inferior), como la hemiarcada (signo delante, derecha; signo detrás, izquierda). Ejemplo: incisivo lateral superior derecho permanente γ +2.

2.5 Sistema de notación americano

Utiliza las iniciales de los dientes (mayúsculas para los dientes permanentes, minúsculas para los caducos) seguidas de un número (si son primeros, segundos, etc.) en superíndice o subíndice para indicar si el diente es superior o inferior. Además utiliza las letras L (*left*, izquierdo) o R (*right*, derecho) para indicar la hemiarcada. Ejemplo: segundo premolar superior izquierdo permanente γ LP².

3. EL ODONTOGRAMA

El odontograma es la representación gráfica de las estructuras osteodentales de la boca (Figura 2).



Figura 2. Odontograma

El odontograma es un esquema de las arcadas dentarias, una ficha personal cuyo diagrama dental consigna las características anatómicas de los dientes, así como de las particularidades y modificaciones, con fines de identificación. Como elemento identificatorio está basado en un principio general: un mismo individuo no posee dos dientes iguales, ni tampoco existen dos bocas iguales. Constituye el registro más utilizado en identificación odontológica.

Los métodos de la identificación odontológica se fundamentan principalmente, en la particularidad de la conformación de la boca y las arcadas dentarias que presenta cada individuo, con caracteres y formas propias; individual y diferente para cada ser humano.

Las rehabilitaciones dentales en general, y la prótesis en particular, aportan por sí mismas gran cantidad de información: incidencias dentarias, situación socioeconómica, momento o tiempo de la confección, procedencia, país de origen o de residencia, etc.

La manera de recoger los datos odontoestomatognáticos con fines clínicos varía de un profesional a otro. Desde el punto de vista forense, y con el fin de evitar errores de identificación, la *American Board of Forensic Odontology* (ABFO) ha propuesto un protocolo respecto a la recogida de los datos odontológicos obtenidos del cadáver a efectos de su cotejo identificativo (Figura 3): estado de los dientes, tipo de dentición, posición dental, morfología coronaria, patología coronaria, morfología radicular, patología radicular, morfología de la cámara pulpar y canal radicular, patología de la cámara pulpar y conducto radicular, restauraciones dentales, estado del periodonto, presencia de exostosis, patrón trabecular óseo, morfología y patología de maxilar y mandíbula, morfología y patología de la articulación temporo-mandibular y otros procesos patológicos.

86 INFORMACIÓN DENTAL sobre dentadura permanente (indíquense los dientes de leche)																	
11																	21
12																	22
13																	23
14																	24
15																	25
16																	26
17																	27
18																	28
18	17	16	15	14	13	12	11										21
48	47	46	45	44	43	42	41										38
48																	38
47																	37
46																	36
45																	35
44																	34
43																	33
42																	32
41																	31

Figura 3. Odontograma AM/PM del Formulario de Identificación de Víctimas de Catástrofes de la Interpol

4. ODONTOMETRÍA: CARACTERES MÉTRICOS Y NO MÉTRICOS DE LOS MAXILARES Y LOS DIENTES

Del estudio de los caracteres métricos y discretos de los dientes, podemos derivar caracteres genéricos del individuo, como el sexo, la edad o la raza.

4.1 Determinación del sexo del individuo a través de los dientes

Los dientes del ser humano son prácticamente monomórficos, sin que encontremos apenas diferencias que atañan ni al tamaño ni a la forma de los dientes entre los hombres y las mujeres. En cuanto al tamaño, el diente que presenta mayores diferencias estadísticamente significativas es el canino, principalmente el canino superior y en concreto en su diámetro bucolingual. Éste es un rasgo atávico, derivado del gran dimorfismo sexual que presentaban nuestros antepasados primates (el dimorfismo sexual del ser humano es de un 7,3%, frente al 70% de los baduinos o al 20-30% de los chimpancés) así como los grandes antropomorfos actuales, cuando los dientes además de las funciones primarias poseían un rol social y sexual importante (defensa del territorio, de la prole, obtención de un harén, etc.). En cuanto al tamaño, los dientes menos dismórficos serían los premolares inferiores. En cuanto a la forma de los dientes, los dientes de los hombres poseen los caracteres más marcados (cúspides más elevadas y cortantes, surcos profundos, crestas bien desarrolladas, etc.), mientras que los de las mujeres presentarían caracteres más suavizados. Asimismo los dientes de las mujeres poseen una coloración más clara debido a un mayor índice de calcificación. Por último, cabe señalar que las mujeres experimentan con más frecuencia el apiñamiento dental, debido a que en las adolescentes el crecimiento óseo termina a una edad más temprana, lo que hace que con frecuencia se ocasionen problemas de discrepancia osteodentaria.

Recientemente se están realizando estudios de perímetro y área dental para determinar el sexo en dientes, aunque por el momento los resultados obtenidos han sido tan prometedores como escasos. Los estudios bioquímicos, el desarrollo de las técnicas de extracción de ADN pulpar y la posibilidad de análisis del sexo cromosómico constituyen las alternativas más modernas a la hora de determinar el sexo del individuo a través de los dientes.

4.2 Determinación de la edad del individuo a través de los dientes

Los dientes presentan a lo largo de la vida del individuo diferentes estadios morfológicos de desarrollo y mineralización, que se pueden observar radiológica o histológicamente, y que corresponden a un determinado periodo de tiempo. Durante la infancia, tiene lugar la erupción y maduración de las 2 denticiones: temporal y permanente; en la adolescencia, el desarrollo del tercer molar; y a partir de la edad adulta, los cambios regresivos, comunes a todo el organismo y expresados en los dientes a través de ciertos cambios en su anatomía y composición química. Así pues la determinación de la edad a través de los dientes se basa en el estudio y la observación de dichos cambios.

La determinación dental de la edad fisiológica (también llamada biológica o de desarrollo) en individuos infantiles (menores de 12-13 años) es relativamente fácil mediante el estudio del momento eruptivo y del desarrollo y maduración dental. Desde los 4 meses de vida intrauterina, a los que empiezan a calcificarse las puntas de los molares, hasta los 14 años, momento en que se completa la formación de los segundos molares inferiores -últimos dientes definitivos en madurar a excepción de los terceros molares-, la secuencia eruptiva, y de desarrollo y mineralización de los dientes (Figura 4) sigue un patrón cronológico estable y fácilmente clasificable.

La estimación de la edad se hace más compleja en el adolescente, una vez se ha producido el cierre apical de las raíces del segundo molar permanente (aproximadamente a los 14 años) debido a la variabilidad que presenta el desarrollo del tercer molar. El tercer molar es el diente con mayor frecuencia de agenesias, el más variable anatómicamente y el más irregular en su secuencia de maduración. A pesar de ello, la necesidad de contar con un procedimiento fiable y seguro de estimación de la edad, derivada de los problemas médico-legales que produce la llegada de menores inmigrantes indocumentados a los países industrializados, está impulsando el desarrollo de métodos basados en la maduración del tercer molar, único diente en proceso de maduración en edades juveniles.

En el individuo adulto, en el que todos los dientes están erupcionados, desarrollados y calcificados, sólo podemos estudiar criterios de regresión fisiológica o las alteraciones dentales producidas por el uso repetido de los dientes a lo largo de la vida.

Los estudios de determinación de la edad en el individuo adulto son numerosos, entre ellos cabe destacar los siguientes:

a) Desgaste dental

El desgaste dental ha sido utilizado con frecuencia como un método sencillo para la estimación de la edad, con la ventaja de ser un elemento de fácil observación tanto en el sujeto vivo como en el cadáver. Sin embargo, aunque en la literatura se manifiesta la utilidad de estas técnicas y su buen comportamiento como indicador de la edad en ciertas poblaciones, los estudios clínicos enfatizan los numerosos factores que influyen sobre este proceso: hábitos parafuncionales, patrón de movimiento mandibular, fuerza de masticación, saliva, tipo de dieta, medicación, enfermedades y hábitos ocupacionales, etc.

b) Método de Gustafson (1950)

Estudia 6 criterios de regresión dental.

1. *Atrición* de bordes incisales y caras oclusales debida a la masticación.

A0 = No atrición

A1 = Afectación de esmalte

A2 = Afectación de dentina

A3 = Afectación de pulpa

2. *Periodontosis*. Cambios de los tejidos de soporte de los dientes.

P0 = No periodontosis

P1 = Incipiente

P2 = Afecta a 1/3 superior de la raíz

P3 = Afecta a más de 2/3 de la raíz

3. *Aposición de dentina secundaria*. Retracción de la pulpa cameral.

S0 = No dentina secundaria

S1 = Comienzo de la formación de dentina secundaria en la parte más alta de la cámara pulpar

S2 = Ocupa la ½ de la cámara pulpar

S3 = Ocupa la totalidad de la cámara pulpar

4. *Aposición de cemento radicular*.

C0 = Depósito normal de cemento

C1 = Pequeños depósitos adicionales

C2 = Aumento de los depósitos

C3 = Grandes depósitos

5. *Reabsorción radicular*. Puede incluir tanto a cemento como a dentina.

R0 = No hay reabsorción visible

R1 = Reabsorción en pequeños puntos aislados

R2 = Grandes pérdidas de sustancia

R3 = Grandes áreas de dentina y cemento afectados

6. *Transparencia radicular*.

T0 = No transparencia

T1 = Transparencia evidente

T2 = Transparencia en 1/3 apical de la raíz

T3 = Transparencia en 2/3 apicales de la raíz

Una vez evaluado el grado de evolución de cada uno de los parámetros descritos, la estimación de la edad se efectúa en función de la siguiente fórmula de regresión:

$$\text{Edad} = 11,43 + 4,56 \times (X) + 3,63$$

donde X representa la suma total de cada uno de los parámetros (An + Pn + Sn + Cn + Rn + Tn).

Además de la complejidad evidente del método de Gustafson derivado del elevado número de criterios a evaluar, hay que tener en cuenta el hecho de que este tipo de mediciones precisan la extracción del diente de su alveolo y su sección parcial o total, lo que altera su morfología dificultando o im-

pidiendo la realización de exámenes posteriores. Asimismo, todos estos criterios pueden verse alterados en menor o mayor medida por patologías dentales que podrían inducir a error a la hora de estimar la edad dental del adulto. Aun así, el método de Gustafson para estimación de la edad dental es considerado como el método clásico de estimación dental en el adulto.

a) Método de Lamendin (1992)

Estudia dos de los criterios de regresión dental de Gustafson: la periodontosis y la transparencia radicular.

b) Estudios de las líneas incrementales del esmalte (estrías de Retzius) y del cemento (anulación del cemento)

El proceso de nacimiento deja su impronta en el esmalte en forma de un anillo denominado línea neonatal, presente en todas las coronas formadas en el momento del nacimiento (todos los dientes temporales y cúspide mesio-vestibular del primer molar permanente). La línea neonatal marca, por tanto, el límite entre el esmalte pre y postnatal. La línea neonatal puede utilizarse como un indicador de la edad postnatal, estimada en función del número de estrías del esmalte o de Retzius contabilizadas entre la línea postnatal y el límite del esmalte formado. Los estudios recientes han demostrado importantes variaciones interindividuales respecto al número de estrías poniendo en duda este método.

En cuanto a la anulación del cemento, se ha observado, en preparaciones histológicas de secciones transversales de la raíz dentaria, la aparición alternativamente, de bandas concéntricas claras y oscuras, visibles a la luz polarizada, que representan el *turn-over* o reposición continua del cemento radicular. Cada uno de estos anillos del cemento correspondería aproximadamente al periodo de un año de vida. Este método presenta buenos resultados en cuanto a la estimación de la edad, pero plantea el inconveniente de que el error de estimación es demasiado grande en edades avanzadas.

c) Transparencia radicular

Con el fin de evitar los inconvenientes derivados de las técnicas anteriores, se han propuesto recientemente otras técnicas basadas en la estimación de parámetros métricos macroscópicos o radiológicos. Bang y Ramm (1970) señalan que el parámetro que mejor se comporta y está menos influenciado por otros factores ajenos a la edad es la transparencia radicular. Los cambios en la transparencia radicular a lo largo de la vida del individuo se producen como consecuencia de la formación de espículas mineralizadas que ocluyen los túbulos dentinarios, con la consecuente reducción de su número y el incremento de la esclerosis dentinaria. De esta forma, los túbulos mineralizados asumen el mismo índice de refracción que la dentina y a la sección aparecen más transparentes. Esta formación de espículas avanza de la zona apical del diente hacia la coronal, en una progresión cuantificable y medible.

d) Estudios óptico-bioquímicos

La investigación se encamina actualmente hacia el desarrollo de métodos bioquímicos, entre los que la racemización del ácido aspártico en esmalte, dentina y cemento han ofrecido hasta el momento resultados satisfactorios.

El método se basa en que los aminoácidos formadores de péptidos y proteínas se presentan en su forma L (levógira) inmediatamente después de su formación, transformándose lentamente hacia formas D (dextrógiras) a lo largo de la vida del individuo si los tejidos no están sometidos a renovación fisiológica (tejidos estables). El grado de transformación es de aproximadamente un 0,1% por año en tejidos estables como la dentina. Los métodos más recientes se basan en la determinación de deoxipiridinolina (DPD), una proteína que parece hallarse sólo en dentina y hueso. Los resultados indican en principio su utilidad como método alternativo o complementario a otras técnicas de estimación de la edad en adultos.

4.3 Determinación de la raza del individuo a través de los dientes

En cuanto a la determinación dental de la raza, no es factible determinar el grupo racial del individuo a través de sus dientes o de sus maxilares, lo que sí es posible es determinar una mayor afinidad con un determinado grupo étnico o una tipología racial. La metodología actual tiene como objetivo calcular la distancia biológica entre poblaciones, siendo ésta la expresión de la variabilidad presente en los individuos de dos o más poblaciones. Para estudiar la afinidad racial a través de los dientes se utilizan 3 criterios:

- a) Estudio de los caracteres métricos de los dientes (microdoncia, mesodoncia y macrodoncia).
- b) Estudio del volumen dental mediante el índice de Flower. Flower desarrolló una fórmula mediante la cual se ponen en relación la longitud yugal de los premolares y los molares (largo dentario) con la medida craneal basion-nasion, dando una idea del tamaño dental en relación al tamaño del cráneo (microdoncia, mesodoncia, megadoncia e hiper-megadoncia).
- c) Estudio de caracteres discretos del diente: aumento o disminución del número de raíces, aumento o disminución del número de cúspides, aumento o disminución del número de surcos, etc. Mediante el método ASUDAS (*Arizona University State Dental Anthropological System*), Scout y Turner (1977) desarrollan un sistema de placas de modelos dentales para establecer análisis comparativos de diferentes caracteres dentales no métricos o discretos (*shoveling*, doble *shoveling*, surco de interrupción singular, *deflecting wrinkle*, tubérculo de Carabelli, parastilo, presencia de cúspides accesorias como c5-c6-c7, etc.).

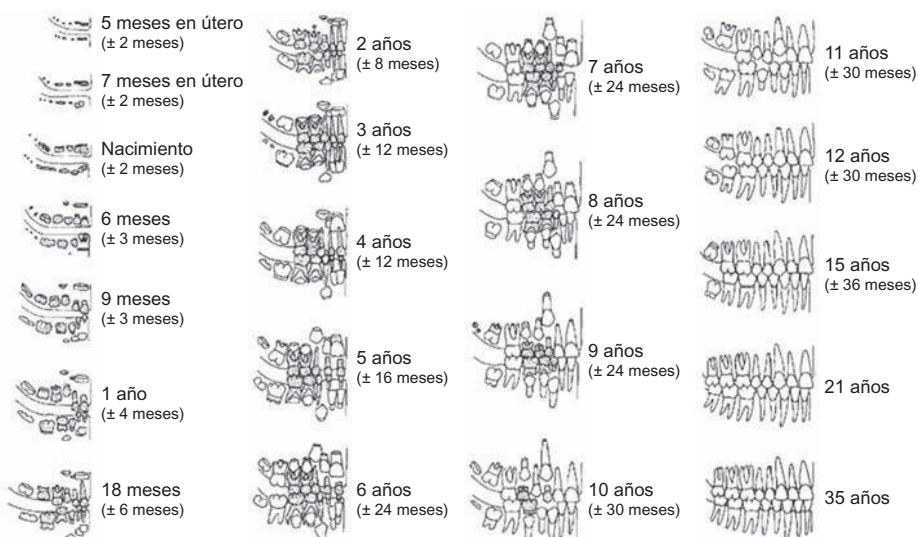


Figura 4. Diagrama de Ubelaker de desarrollo y erupción dental según los estadios de Nolla y Demirjian

AUTOPSIA DE MAXILARES

La palabra autopsia es sinónimo de necropsia y constituye el conjunto de actos practicados en el cadáver para determinar las causas directas o indirectas de la muerte.

La obtención de los datos dentales postmortem a través del examen de la cavidad oral puede realizarse mediante exploración extraoral e intraoral directa, o tras la extracción de los maxilares. La extracción de los maxilares evita los problemas de registro derivados de la dificultad para obtener una buena apertura bucal en el cadáver, y facilita la realización de técnicas complementarias, permitiendo asimismo su conservación para estudios ulteriores. Con todo, la autopsia de maxilares es una práctica que se realiza en contadas ocasiones debido a la alteración que produce en el aspecto del cadáver.

La autopsia de maxilares tiene 3 fases fundamentales:

1. Estudio externo. Inspección visual y estudio fotográfico.
2. Estudio interno. Inspección visual, estudio fotográfico y radiológico.
3. Extracción de maxilares, tratamiento y conservación de los mismos.

Existen diversas técnicas para la extracción de los maxilares, en función del estado del cadáver y de las estructuras cráneo-faciales, teniendo siempre en cuenta que la finalidad última de la autopsia bucal es la identificación de la persona, por lo que se tenderá a utilizar métodos de extracción lo más conservadores posibles con las estructuras óseas.

El método clásico de extracción de maxilares es el propuesto por Keiser-Nielsen: se practica una incisión de cóndilo a cóndilo, siguiendo el borde interno de la rama ascendente y la base de la mandíbula a unos 2-3 cm del mismo, en forma de herradura. Se practica una segunda incisión por la superficie externa del cuerpo mandibular, incluyendo el vestíbulo y seccionando la inserción de los maseteros. Se eleva el colgajo cranealmente observando la superficie externa de ambas arcadas. Se disecan y seccionan las inserciones de los músculos maseteros, pterigoideos y temporales, así como la cápsula articular de la articulación temporomandibular (ATM), consiguiendo la desarticulación de la mandíbula y liberándola completamente. Para la extracción del maxilar superior se practica una incisión vestibular, elevando el colgajo hasta las bases de las órbitas y espina nasal, serrando a continuación el maxilar a este nivel (Lefort I), cuidando siempre que el plano de la sierra no afecte los ápices radiculares, especialmente a nivel de los caninos.

El tratamiento de los maxilares posteriormente a su extracción es el habitual en la práctica antropológico-forense: ebullición controlada con sustancias detergentes (evitar sustancias cáusticas, agentes agresivos, blanqueantes, etc.), eliminación de los tejidos blandos, secado y siglado.

IDENTIFICACIÓN DENTAL

1. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LOS DIENTES EN CRIMINALÍSTICA

La odontología como parte de las Ciencias Forenses aplica los conocimientos de la región buco-facial para la resolución de problemas jurídicos, posibilitando la identificación en el sujeto vivo o la necroidentificación de cadáveres en condiciones en las que los métodos convencionales no ofrecen resultados.

Los dientes por sus especiales características constituyen un registro idóneo para la investigación criminal:

- La individualidad y diversidad de la boca.
- La resistencia de los dientes a los agentes físicos, químicos, biológicos, tafonómicos y al paso del tiempo o las condiciones del terreno.
- La resistencia de los materiales de reconstrucción y rehabilitación dental a los agentes físicos, químicos, biológicos, tafonómicos y al paso del tiempo.
- La evolución social de la odontología facilita la existencia de datos antemortem: historias clínicas completas, radiografías de diagnóstico, modelos de estudio y trabajo, fotografías de estudio, etc.
- La investigación odontológica es simple, sencilla y económica.
- El análisis de los maxilares permite hacer determinaciones antropométricas así como determinar caracteres genéricos del individuo.

- Los dientes permiten en ocasiones la identificación de hábitos, profesiones, estatus socioeconómico, país de origen o residencia, etc.
- Del interior de la cámara pulpar y de los conductos radiculares se puede obtener muestras para el estudio de ADN con fines identificativos.

2. MÉTODOS ODONTOLÓGICOS DE IDENTIFICACIÓN

2.1 *Estudio de las incidencias dentarias: el cotejo AM-PM*

La identificación humana y la necroidentificación han preocupado al ser humano desde sus orígenes. Como señalaba Federico Olóriz Aguilera, inventor del Sistema Dactiloscópico Español, «la identificación es el acto más frecuente y elemental de la vida social [...] Lo hacemos de forma automática e inconsciente identificando al amigo o conocido que tenemos delante con la imagen que de él tenemos grabada en la memoria, tras un cotejo instantáneo».

La necroidentificación de un cadáver por métodos o procedimientos odontológicos, supone el resultado positivo del cotejo entre los datos dentales obtenidos del cadáver (datos postmortem o dubitados) y los contenidos en los registros dentales de personas desaparecidas (datos antemortem o indubitados). Los registros dentales constituyen la herramienta identificadora del odontólogo forense y comprenden la totalidad de los datos correspondientes a la historia dental de un paciente, los derivados de su exploración clínica y de las pruebas complementarias efectuadas, es decir, todos los elementos de carácter diagnóstico y planificador que han sido generados en la relación terapéutica entre el paciente y su odontólogo.

2.2 *Estudio de los modelos dentarios y las prótesis dentales*

Los modelos dentarios son reproducciones fieles, de los dientes y las estructuras peridentarias, que se preparan para la planificación, confección y evaluación de ciertos tratamientos dentales (prótesis, ortodoncia, etc.). Tienen por tanto un gran valor identificativo, ya que nos proporcionan un duplicado a tamaño real, de las arcadas dentarias del paciente.

De la misma manera, las rehabilitaciones protésicas obedecen a un diseño individual realizado por el odontólogo, por lo que las características de su diseño y confección pueden ser de utilidad en los procedimientos identificativos. En ocasiones el sujeto no porta la prótesis en el momento de su fallecimiento y su correcta inserción en los maxilares del cadáver permite llevar a cabo la identificación. No obstante, la pérdida de los dientes conlleva una serie de cambios en los tejidos de soporte cuando la edentación se mantiene un periodo de tiempo prolongado, entre ellos la reducción del volumen del hueso alveolar que da soporte a la dentadura. Esto supone que cuando un individuo porta una dentadura durante un cierto tiempo, ésta va perdiendo su ajuste inicial, lo que puede dificultar la adecuada inserción y, por tanto, la identificación. El patrón de desgaste de los dientes de la prótesis con respecto a la arcada antagonista nos ayudará, en ocasiones, a superar estos problemas.

2.3 Estudio antropométrico de los maxilares y los dientes: sexo, edad y raza

La posibilidad de determinar caracteres genéricos del individuo mediante el estudio métrico de los maxilares nos aproxima a un diagnóstico genérico de la identidad.

2.4 Palatoscopia y queiloscopia

El estudio de los *ruquets* o rugas palatinas, tuvo un gran auge en los años 70. Las rugas palatinas aparecen en el tercer mes de vida intrauterina, y se mantienen invariables durante la vida, desapareciendo en el sujeto con los procesos de putrefacción. Estas rugas que se configuran a ambos lados del rafe palatino adoptan distintas formas. Al ser estructuras orales perennes, inalterables, individuales y clasificables, constituyen un registro identificativo muy válido. El problema que presenta la identificación palatoscópica y que reduce considerablemente su uso en la actualidad es la dificultad de encontrar registros antemortem, así como personal experto en la formulación palatoscópica para realizar un cotejo.

La queiloscopia es la ciencia que estudia y clasifica los dibujos formados en los labios humanos. Los surcos labiales son ser estructuras orales perennes, inalterables, individuales y clasificables, al igual que las rugas palatinas. Asimismo, las características morfológicas, anatómicas e histológicas del tejido que constituyen la superficie labial permiten que las huellas producidas por lo labios, se revelen fácilmente mediante la aplicación de reveladores dactiloscópicos, lo cual hace que la sistemática del estudio queiloscópico sea relativamente sencilla. La queiloscopia, no se usa tanto en la necroidentificación como en la identificación del sujeto vivo, especialmente en la identificación criminal.

2.5 Estudio de las marcas de mordida

Las marcas de mordida son las causadas por uno o varios dientes, solos o en combinación con otras partes de la boca, sobre el cuerpo de una víctima (riñas, abusos sexuales o maltrato), un agresor (marcas de mordida defensivas) o un objeto (restos de comida especialmente). Pueden constituir lesiones contusas o incisocontusas, o verdaderas laceraciones.

Las marcas de mordida se clasifican según la forma y según la intensidad y el mecanismo de acción. La morfología de las mismas viene determinada por la localización y la causa.

La evolución de las marcas de mordida es idéntica a la que se producen en hematomas y heridas por los procesos de coagulación-degradación de la hemoglobina y cicatrización.

- a) Consideraciones a tener en cuenta a la hora de analizar una marca de mordida:
 - Mordedura humana o animal. Tipo de animal
 - Descartar mordeduras simuladas
 - Localización topográfica del cuerpo

- Doble arco o arco simple
 - Continuidad del dibujo o ausencias. Tamaño y alineación
 - Potencia de mordedura
 - Ante o postmortem
- b) Signos identificativos de la marca de mordida:
- Forma de los bordes incisales
 - Diastemas
 - Rotaciones
 - Abrasiones
 - Tamaño
 - Forma
 - Posición conjunta de los dientes en la arcada
- c) Metodología de estudio de las marcas de mordida:
- Obtención de fotografías de la víctima, con testigo métrico
 - Impresiones siempre que se puedan obtener
 - Resección de tejidos en caso necesario
 - Toma de muestras si es pertinente
 - Dibujo de los bordes incisales en papel de acetato
 - Obtención de modelos de escayola del sospechoso
 - Fotografías de los modelos
 - Comparación de las impresiones recogidas en la víctima
 - Dibujo de los bordes incisales del sospechoso con acetato
 - Comparación de los dibujos obtenidos en acetato transparente
 - Evaluación de los resultados

Según los criterios de la ADA (Asociación Dental Americana), para que un cotejo se considere positivo se requieren al menos 20 puntos coincidentes en la evaluación de las marcas de mordida.

2.6 Radiología dental

La radiología oral constituye un método de elevada fiabilidad en la identificación del individuo, incluso en ausencia de restauraciones, proporcionando información no sólo de las estructuras dentales, sino de las estructuras óseas adyacentes y en ocasiones del complejo cráneo-mandibular.

Los estudios radiológicos se realizan de forma rutinaria como procedimiento diagnóstico y con el fin de comprobar y documentar los resultados finales obtenidos tras el tratamiento. Debido a ello, suelen habitualmente formar parte de los registros dentales.

Las radiografías ofrecen una información objetiva no visible por medio de la exploración clínica (estadio de desarrollo dental, morfología radicular, tratamiento de conductos, estado del hueso periodontal, etc.).

La comparación de datos dentales antemortem con radiografías obtenidas del cadáver, incluso en cadáveres en condiciones especiales (momificados, saponificados, carbonizados, en avanzado estado de descomposición, esqueletizados, etc.), permiten con relativa frecuencia la identificación del sujeto (Figura 5).

- a) Metodología de identificación mediante radiología dental:
 - Superposición de imágenes osteodentales
 - Comparación de elementos radioopacos
 - Determinación de discrepancias explicables o no explicables
 - Determinación de caracteres genéricos del individuo (edad, sexo y raza)
 - Determinación de caracteres individualizadores
- b) Los puntos de comparación no tienen por qué ser necesariamente un diente o una restauración, sino pequeños rasgos distintivos radiográficos. De manera general, estudiaremos las siguientes características:
 1. Dientes

Observaremos su número, forma, tamaño, posición, la forma e inclinación de las raíces, su relación con estructuras anatómicas adyacentes, la presencia de anomalías estructurales, la distribución de caries, la presencia de traumatismos, la presencia de desgaste dental, presencia de dientes impactados o retenidos, etc.
 2. Hueso periodontal

La afectación de los maxilares, ya sea por patologías locales (enfermedad periodontal, abscesos, quistes, granulomas, tumores, etc.) o sistémicas, que se presenta radiológicamente como imágenes radiolúcidas o radioopacas. Siempre que dichas condiciones patológicas persistan permitirán también su comparación con los registros previos.
 3. Restauraciones dentales

La presencia de materiales de obturación, cementos, bases cavitarias, la morfología de las propias cavidades, los tratamientos de los conductos radiculares, las reconstrucciones con pines o pernos, las prótesis fijas, los implantes o el material de osteosíntesis (alambres, miniplacas, etc.) pueden constituir también elementos que permitan la identificación mediante radiología oral.
 4. Estructuras cráneofaciales

En ocasiones, los registros radiológicos antemortem consisten en radiografías extraorales efectuadas a consecuencia de patologías o traumatismos cráneofaciales, en las que son visibles ciertas estructuras cráneofaciales con importancia identificadora.

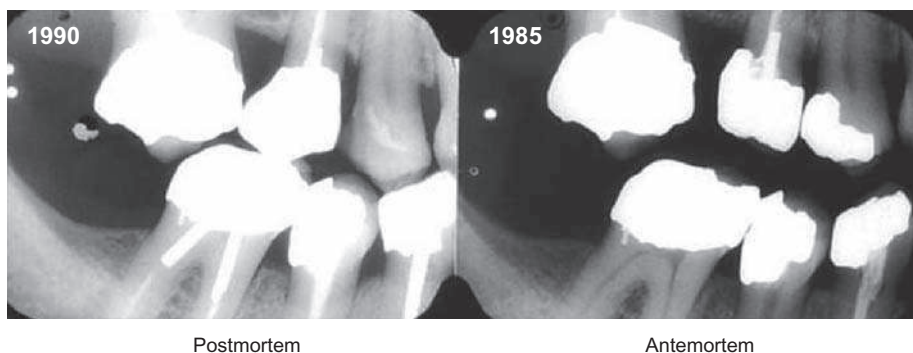


Figura 5. *Identificación mediante radiografía dental: discrepancias explicables*
(figura modificada de www.forensicdentistryonline.org)

2.7 Superposición dentofotográfica y análisis de imagen

La superposición de imágenes fotográficas del cráneo y el propio cráneo es una técnica relativamente moderna. En 1883 Welcker identifica el cráneo de Immanuel Kant al dibujar el contorno del cráneo atribuido al filósofo y el contorno de su máscara mortuoria, y posicionarlos de forma que los dos contornos dibujados estén en una correspondencia exacta. His en 1895 modela un busto en un molde de yeso a partir del cráneo de Juan Sebastián Bach, de acuerdo con las medidas de los tejidos blandos. Para establecer las características faciales usa alguno de los retratos que se creía que poseían las características más fiables de este personaje. Por esta vía His identifica el cráneo de Bach, determinando además en el esqueleto edad, sexo, estatura y data de la muerte.

El procedimiento de la superposición craneofotográfica presenta falsos positivos con frecuencia, por la discrepancia que surge de comparar medidas tridimensionales obtenidas del cráneo y medidas bidimensionales de las fotografías antemortem, por lo que la problemática de orientar el cráneo en la posición exacta que presenta en la fotografía, así como por la dificultad de encontrar suficientes puntos de referencia estables en el cráneo, por la mayoría de los investigadores no lo consideran un método de identificación individualizador, sino complementario.

La fisonomía del individuo también influye en la fiabilidad de la superposición, ya que la expresión facial, el estilo del peinado, la cantidad de pelo, la existencia de barba, la existencia o pérdida de dientes etc., pueden influir negativamente en la identificación. La edad que tenía el individuo al tomar la fotografía, si es antigua, puede que acentúe las diferencias en algunos aspectos, como nariz u oídos. Otros casos como traumatismos, cirugía plástica, utilización de gafas, o cualquier otra modificación de la cara pueden representar un inconveniente para realizar la superposición, al modificar el aspecto del individuo.

Debemos señalar finalmente que la mayoría de las veces podemos conseguir un diagnóstico negativo de superposición, es decir, señalar que la fotografía y el cráneo no son coincidentes. Más difícil es conseguir una identificación positiva y, siempre que creamos que lo es, debemos corroborarlo con otros datos que nos confirmen dicha identificación.

La comparación de imágenes dentofotográfica, al ser menor la magnificación radiográfica y más numerosos los puntos estables de referencia por la ausencia de tejidos blandos, es considerada un método de identificación individualizador, dependiendo siempre de las características morfológicas de los dientes del sector anterior (Figura 6). Normalmente el procedimiento de superposición de imágenes dentarias se supedita, por su complejidad, a la posibilidad de obtener resultados positivos con procedimientos directos y simples. La existencia de fotografías antemortem, ante la falta de otros datos, puede hacer obligada la aplicación de técnicas de superposición para determinar la identidad.

Las técnicas de superposición craneofotográfica y dentofotográfica se fundamentan en 3 características craneométricas:

- Individualidad del cráneo y los dientes.
- Proporción entre las medidas del cráneo y las de la cara.
- Simetría proyectiva en las fotografías del rostro.

Antiguamente se utilizaban diferentes dispositivos estáticos o dinámicos de comparación entre la fotografía antemortem y el cráneo, superponiendo los puntos craneométricos. Hoy en día se utilizan métodos infográficos, que digitalizan la fotografía antemortem y el cráneo, bien de modo directo o haciéndolo sobre fotografías obtenidas de los restos cadavéricos, y posteriormente realizan la superposición.



Figura 6. *Identificación mediante superposición dentofotográfica*

2.8 Marcadores genéticos del diente: el ADN dental

El estudio de muestras biológicas comprende 3 objetivos principalmente:

- Diagnóstico genérico, determinante de la naturaleza de la sustancia.
- Diagnóstico específico o de especie, mediante el cual se establece la especie del animal del que procede esa muestra.
- Diagnóstico de la individualidad biológica, por el que se intenta, una vez establecido el origen humano, determinar a qué individuo pertenece.

Cuando no es posible la comparación de ADN nuclear no codificante para el cotejo, se puede recurrir a otro tipo de muestras como el ADN mitocondrial o el ADN del cromosoma Y, lo que amplía el abanico de posibilidades a la hora de realizar una identificación mediante análisis genético.

En el ámbito estomatológico podemos obtener ADN tanto de muestras de saliva, como del interior del diente (pulpa cameral y radicular). La saliva no debería ser un buen medio para estudiar el ADN, ya que teóricamente es un medio acelular; en la práctica, presenta numerosas células descamadas así como nucleadas de las que se puede extraer ADN suficiente para un estudio identificativo. En el caso del ADN dental, se prefieren los molares a los dientes del grupo anterior, ya que presentan mayor cantidad de pulpa dental. Si el diente está cariado o fracturado no existe verdadera protección de la zona interna y ocasionará problemas de contaminación en el laboratorio. En el caso de no disponer de molares no cariados ni restaurados el orden de preferencia será el siguiente: premolares no dañados, caninos no dañados y finalmente incisivos no dañados.

EL PAPEL DEL ODONTOESTOMATÓLOGO EN LAS GRANDES CATÁSTROFES

La identificación de víctimas de desastres de masas o grandes catástrofes plantea numerosos problemas que hoy en día tratan de resolver las diversas disciplinas médico-forenses. La contribución de la antropología se desarrolla tanto en las tareas de recuperación de los restos como en la obtención de datos genéricos del individuo (sexo, edad, talla y afinidad racial).

Por su parte, los métodos odontológicos juegan un papel indiscutible aunque quizás no lo suficientemente apreciados. El número de casos en los que la identificación dental juega un papel significativo es creciente, variando en función de las circunstancias del momento, del grado de mutilación y fragmentación, de la descomposición, etc.

3

TOXICOLOGÍA FORENSE I. INTOXICACIONES POR ALCOHOL ETÍLICO

María José Anadón Baselga

*Directora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria.
Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid*

Victoria Uroz Martínez

*Profesora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria. Sección Toxicología
Forense. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid*



Figura 1. Antídotos y fármacos que se emplean en el tratamiento del coma etílico

EPIDEMIOLOGÍA DEL CONSUMO DE ALCOHOL ETÍLICO

El alcohol etílico o etanol es actualmente, junto con el tabaco, una de las principales causas individuales de enfermedad prevenible en España. Por señalar la relevancia epidemiológica de su consumo y abuso, el etanol es la droga psicoactiva de consumo más extendido en España en todos los tramos de edad, en los dos sexos y en casi todos los grupos sociales. El consumo abusivo de bebidas alcohólicas está claramente relacionado con el desarrollo de discapacidad y de unas 60 enfermedades y algunas estimaciones apuntan que causa el 6,8% de la carga de enfermedad en la Europa occidental (Delegación del Gobierno para el Plan Nacional sobre Drogas, DGPND, 2008).

En 2005, en los 30 días previos a la encuesta del *Informe 2007* del Observatorio Español sobre Drogas (OED), un 14,9% de la población de 15-64 años había tomado diariamente bebidas alcohólicas y un 19,7% se había emborrachado al menos una vez. Además, el consumo está bastante más extendido durante los fines de semana que durante los días laborables, sobre todo entre la población menor de 34 años. Es la práctica del conocido botellón, que comporta cada fin de semana la atención de más de 60 jóvenes con intoxicación etílica aguda, contando tan sólo con la estadística proporcionada por los servicios de urgencias de la Comunidad de Madrid.

Atendiendo a las edades de la población consumidora, el OED señala en su *Informe 2007* que en la población de 15-64 años se aprecia una tendencia a la estabilidad del consumo esporádico y habitual con respecto a los años anteriores. Por su parte, entre los estudiantes de enseñanza secundaria de 14-18 años ha aumentado el consumo intenso y las borracheras.

Desde el punto de vista clínico es la causa más frecuente de intoxicación aguda de ingreso hospitalario en los estudios epidemiológicos realizados en España, pues supone aproximadamente entre un 40-20% de las intoxicaciones recibidas en urgencias. En el *Informe 2007* del OED se menciona el alcohol etílico en la historia clínica en un 39% de las urgencias debidas a drogas. En general, un 10% de todas las muertes comprendidas entre los 16-74 años pueden relacionarse con el alcohol. Se considera, por tanto, como tercera causa de muerte en nuestro país y la primera en menores de 30 años de edad.

El alcoholismo, o consumo crónico de alcohol etílico con dependencia, es la primera toxicomanía en muchos países del mundo. En España, la Organización Mundial de la Salud ha señalado una horquilla de prevalencia de alcoholismo entre el 7,5-10%. Afecta a un gran número de individuos, en general adultos, pero también y cada vez más los adolescentes van viéndose afectados, no sólo por procesos de alcoholización sino también por problemas relacionados con el consumo de alcohol, aunque no medie la dependencia (accidentes, problemas familiares, escolares, intoxicaciones graves...).

1. ETIOLOGÍA MÉDICO-LEGAL DE LAS INTOXICACIONES ETÍLICAS

La mayoría de las intoxicaciones agudas por alcohol etílico son de tipo accidental, es decir, la intoxicación etílica aguda grave no es buscada por sí misma sino acontecida en el llamado «consumo lúdico». No obstante, al existir una voluntad de la persona por ingerir el alcohol etílico, algunos autores denominan estas intoxicaciones como voluntarias. Bajo esta categoría, los centros hospitalarios suelen referir hasta un 50-70% del total de las intoxicaciones agudas por todo tipo de tóxicos atendidas por ellos. La bibliografía científica existente identifica que se encuentra relacionada con el alcohol etílico un 30-40% de los fallecidos por causas de muerte de etiología violenta diferentes al homicidio y suicidio.

Con respecto a las intoxicaciones etílicas de etiología suicida, numerosos estudios internacionales consultados refieren que un 25-35% de los suicidios están relacionados, de alguna manera, con el consumo de alcohol. El consumo crónico de alcohol etílico es un factor de riesgo para el suicidio bien conocido desde hace años. No obstante, las más recientes investigaciones de grandes poblaciones japonesas señalan que existe una asociación lineal entre el consumo diario de alcohol y el riesgo de suicidio, y que éste también se encuentra aumentado en los bebedores ligeros (ingesta de hasta 23 gramos diarios de etanol) en comparación con los no bebedores.

En el *Estudio sobre el alcohol en Europa* elaborado por Andersen y Baumberg en 2006, patrocinado por la Comisión Europea, se señala que 1 de cada 6 suicidios de nuestro continente es debido a éste. Sin embargo, según las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística (INE) de 2005, en el apartado específico de modo de suicidio, se registra el alcohol etílico como método intencional empleado tan sólo en el caso de una mujer del

total de 3.399 suicidios consumados. En el INE de 2006, del total de 3.246 suicidios, se registraron 4 (2 varones y 2 mujeres). En otras publicaciones del INE, sin embargo, se ha señalado que el alcohol se presenta como responsable del 25% de las muertes de origen suicida en asociación con otros agentes causales.

Por último, y en tercer lugar de frecuencia, el alcohol etílico puede ser empleado como agente lesivo u homicida. Para tener esta consideración médico-legal, la intoxicación debe haber sido provocada por una persona con la intención de causar daño o la muerte a un tercero. La intención de causar daño es el denominado «dolo».

Existe una tipología de empleo del alcohol como agente para proceder a la inmovilización y posterior hurto, abuso sexual, etc. Suele emplearse en la bebida administrada, alcohol etílico mezclado con otras drogas depresoras como el ácido gammahidroxibutírico (GHB) o éxtasis líquido.

2. ALCOHOL Y CRIMINALIDAD

Son numerosos los estudios referidos en el *Informe sobre alcohol* del Ministerio de Sanidad (2007) que han puesto de manifiesto la relación entre las tasas de consumo de alcohol y homicidios en diferentes partes del mundo (Europa, Estados Unidos y Canadá) pudiéndose afirmar que en torno a un 30-50% de los fallecidos en homicidios están relacionados, de alguna manera, con el consumo de alcohol.

En la Unión Europea no tenemos un sistema unificado de datos estadísticos suficiente para cuantificar la presencia del alcohol en las intervenciones policiales y judiciales. Se considera en altas instancias científicas que relacionar de forma simple alcohol y comisión de actos violentos puede inducir a errores y sesgos, si bien está claro que existe vinculación epidemiológica del alcohol con determinados actos delictivos.

Roizen en 1997 describió que en Estados Unidos el 86% de los homicidios, el 37% de los atracos, el 60% de los delitos de abuso sexual, 17% de hombres y 27% de mujeres implicadas en violencia de la pareja, y el 13% de los abusos sobre menores, estaban relacionados con el abuso de alcohol.

Las investigaciones en ámbitos más cercanos arrojan datos un poco más conservadores para los homicidios. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE) y el *Estudio sobre el alcohol en Europa* elaborado por Andersen y Baumberg en 2006, patrocinado por la Comisión Europea, el alcohol etílico se considera responsable de un 40% de los homicidios.

Como dato preocupante el *Informe sobre alcohol* del Ministerio de Sanidad (2007) señala que en los últimos veinte años también se ha consolidado el consumo de alcohol como rito de paso para pertenecer a colectivos violentos que, aunque no sean bebedores muy frecuentes ni excesivos, perpetúan el ciclo violencia-alcohol.

ASPECTOS MÉDICOS DE LA INTOXICACIÓN POR ALCOHOL ETÍLICO

El etanol o alcohol etílico es un alcohol alifático, líquido, incoloro, insípido, inodoro, volátil a temperatura ambiente, inflamable, hidrosoluble y miscible en cloroformo y éter. El etanol es menos denso que el agua (densidad: 0,791 g/ml). Su peso molecular es de 48 Dalton y su fórmula química es C_2H_5OH CH_3-CH_2-OH .

El alcohol etílico se obtiene de la fermentación anaeróbica de los hidratos de carbono, proceso conocido como «fermentación alcohólica», y por la destilación posterior. Según se trate de un procedimiento u otro, se conseguirán bebidas de diferente graduación; así por ejemplo, vinos, cervezas o champán surgen a partir de la fermentación de frutas o granos alcanzando la graduación de 10° en el caso de la fermentación de la uva, mientras que habrá que recurrir a la destilación para lograr ginebra, whisky, ron, etc. Por ejemplo, la fermentación y destilación de la baya de enebro produce la ginebra, con una graduación de 40°.

El etanol se emplea en altas graduaciones como desinfectante y disuelto en diversas proporciones en numerosas bebidas, medicamentos antitusígenos, perfumes, limpiadores domésticos, lociones para después del afeitado, colutorios... Es preciso señalar que algunos enjuagues bucales contienen hasta un 27% de etanol (27°), que es mucha mayor concentración que la que tienen las bebidas habituales, como la cerveza y el vino. Por ello los pacientes con dependencia alcohólica ingieren en ocasiones este tipo de productos más disponibles y poco costosos, especialmente cuando no se permiten bebidas alcohólicas en su ambiente específico por residir en un hospital o en una prisión.

El etanol se acompaña de otros componentes en numerosos preparados, que son los que otorgan determinadas cualidades finales al producto (aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres, taninos, colorantes, otros alcoholes o sustancias con efectos farmacológicos).

Volviendo al origen más frecuente del etanol en las intoxicaciones, clasificaremos las bebidas según sus variadas concentraciones de etanol en:

- Bebidas de baja graduación (4-9%): cervezas (4-7%) y sidra (3%).
- Bebidas de graduación media (10-20%): vinos (9-17%), cava y vermús (16-24%).
- Bebidas de graduación alta (20-50%): whisky, ron, etc. (38-40%). Los licores pueden oscilar entre 15-55%.
- Bebidas prohibidas por su elevada graduación: las que tienen una concentración mayor de 50% de etanol (algunos orujos caseros pueden llegar a ingerirse con una concentración del 98%).

Según el OED en su *Informe 2004* y en el de 2007, casi la mitad del alcohol es consumido en forma de cerveza (44%), dividiéndose el resto entre vino (34%) y licores (23%). Dentro de la Unión Europea, de los 15, los países nórdicos y centrales beben sobre todo cerveza, mientras que el sur de Europa bebe sobre todo vino (aunque España puede ser una excepción, dado que las bebidas más consumidas son cerveza, vino y combinados, en este orden).

1. TOXICOCINÉTICA DEL ETANOL

1.1 Absorción del etanol

La absorción del etanol es muy buena y rápida por todas las vías, cutánea e inhalatoria incluidas. Se realiza por el mecanismo de difusión simple a favor de gradiente. Tras su ingestión es rápidamente absorbido por la mucosa del estómago en un 30% y después por el intestino delgado proximal en el 70% restante. Se conoce que la absorción es también posible en el colon.

Como factores que influyen en la absorción cabe citar la presencia de otros alimentos en el estómago, especialmente carbohidratos, grasas y proteínas. Aumentan la velocidad de absorción del etanol los siguientes hechos: que el estómago se encuentre vacío, la dilución de un bajo porcentaje de etanol (se da la máxima absorción para concentraciones de 20% por volumen), las bebidas carbonatadas y frías y la existencia de operaciones de estómago, con restricción del mismo y vaciamiento más rápido. En este caso último se absorbe antes porque la mayoría del alcohol en situación normal se absorbe en el intestino delgado y al estar operada la persona y tener un vaciamiento rápido del estómago se adelanta este fenómeno.

La curva de alcoholemia (Tabla 1) sintetiza este proceso de absorción (A), distribución (D) y eliminación (E) y es de gran interés médico-legal.

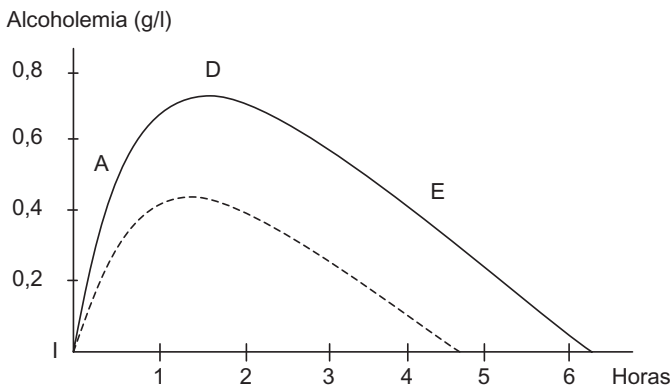


Tabla 1. Curva de alcoholemia

En la curva con línea continua representamos la alcoholemia tras la ingesta (I) en ayunas y a la vez de cuatro copas de vino en un sujeto varón de 70 kilogramos de peso, que no presenta consumo crónico de alcohol etílico. Suponemos la ingesta total de 40 gramos de alcohol etílico. El segmento desde la ingesta (I) al pico máximo (D de distribución) corresponde a la fase de absorción (A), es decir, del paso del alcohol a la sangre. La mayor o menor pendiente de la primera parte de esta curva representa la mayor o menor velocidad de absorción. Tras la absorción, en la fase de distribución (D) se llega al equilibrio entre los compartimentos acuosos del organismo,

y aparece el pico máximo de concentración. Este pico se realiza en torno a una hora después del último consumo si el estómago estaba vacío –con un rango de 30 minutos a 2 horas de variación– y al menos 3 horas después si estaba lleno. Es preciso señalar, por sus implicaciones médico-legales, que la bibliografía más reciente señala que si hay alimentos ingeridos antes o a la vez que el etanol, puede precisarse hasta 6 horas para que la absorción sea completa. Después de este pico comienza el descenso de la curva debido a la eliminación (E) del alcohol etílico debido a la oxidación del mismo en el hígado.

En línea discontinua se representa el mismo proceso pero con el estómago lleno. En este caso el nivel máximo de alcoholemia alcanzado es menor aunque se haya ingerido el mismo número de gramos de alcohol.

1.2 Distribución del etanol

El alcohol difunde prácticamente en todos los tejidos, con menor tendencia a disolverse en los lugares con poco porcentaje de agua y en las grasas, ya que su liposolubilidad es unas 30 veces menor que su hidrosolubilidad.

El volumen de distribución (Vd) es un parámetro complejo que describe la proporción de etanol que se encuentra en la sangre, en proporción con el que se disuelve en los tejidos. Su unidad es litros por kilogramo de peso. Representa el volumen teórico total que necesitaría el alcohol etílico absorbido para distribuirse estando a la misma concentración que la existente en sangre. En el varón, el Vd es igual a 0,7 y en la mujer es de 0,6. Al poseer más porcentaje de materia grasa las mujeres tienen menor porcentaje de agua en su cuerpo respecto a los varones, y su Vd es menor al de ellos. Es decir, de una misma cantidad de alcohol ingerida por hombres y mujeres, hay un porcentaje mayor del mismo que se distribuye en la sangre en el caso de las mujeres. Esto explica la mayor afectación del etanol en el sexo femenino, en igualdad de otras circunstancias de edad, hábito de consumo y salud.

$Vd \text{ etanol} = 0,6 \text{ l/kg en mujeres y } 0,7 \text{ l/kg en varones.}$

Este Vd también puede oscilar dependiendo de las características propias del individuo (mayor o menor cantidad de pániculo adiposo) y de su edad, ya que el agua total del cuerpo descende con el envejecimiento. Por lo tanto, si fuera preciso, se deberá ajustar el Vd al porcentaje real de agua del sujeto en el que se esté estudiando la alcoholemia.

1.3 Cálculo de la alcoholemia máxima teórica

En condiciones ideales de toma única, máxima absorción y ayuno, la concentración de alcohol en sangre o alcoholemia (g/l) alcanzable al finalizar la absorción es igual al cociente entre el total de etanol ingerido en gramos y el resultado del producto del peso del individuo en kilogramos y el volumen de distribución del etanol (Vd).

Por lo tanto, siguiendo la ecuación modificada de Widmark, la alcoholemia máxima esperable de forma teórica es igual a:

$$C = \frac{\text{Etanol ingerido (g)}}{\text{Peso individuo (kg) x Vd (varón 0,7 y mujer 0,6)}}$$

Para calcular la cantidad en gramos de etanol ingerido, se ha de sumar el volumen total de etanol contenido en cada una de las bebidas. Desde dicha cantidad de volumen de etanol se obtiene la masa en gramos de la misma, conociendo la densidad del etanol. Es decir, la masa de etanol en gramos es igual al producto del volumen del mismo (en mililitros) por su densidad (0,8 siendo 1 la del agua).

$$\text{Densidad del etanol } (\rho) = \frac{\text{masa (g)}}{\text{Volumen (V)}} ; \text{ masa (g)} = \rho \times V$$

En síntesis, para calcular el numerador de la fórmula de la alcoholemia máxima teórica debemos realizar el siguiente cálculo:

$$\text{Gramos de etanol ingeridos} = \text{graduación} \times \text{Volumen (ml)} \times 0,8 / 100$$

Nos quedaría la fórmula modificada de Widmark sintetizada así:

$$C = \frac{\text{graduación} \times \text{Volumen de bebida (ml)} \times 0,8 / 100}{\text{Peso individuo (kg) x Vd (varón 0,7 y mujer 0,6)}}$$

Ejemplos:

1. Calcule la alcoholemia máxima teórica de un sujeto de 70 kg que ha ingerido dos cervezas de 4º de 200 ml cada una.

Como la cerveza contiene un 4% de etanol, y cada una de ellas son 200 ml, en las dos cervezas hay 16 ml de etanol puro.

Suponemos que lo ha ingerido en ayunas y de una sola vez.

La masa de etanol correspondiente a esos 16 ml es de 12,8 g.

$$\text{La alcoholemia será igual a: } \frac{12,8 \text{ g de etanol}}{70 \text{ kg} \times 0,7} = 0,26 \text{ g/l}$$

2. Calcule la alcoholemia de un paciente varón de 65 kg que ha ingerido una cerveza en un «tubo» con 250 ml de 4º, tres copas de vino de 10º y un cubata cargado.

Suponemos que lo ha ingerido en ayunas y de una sola vez.

1 cerveza = 250 ml x 0,04 = 10 ml de etanol.

3 vinos = 300 ml x 0,1 = 30 ml de etanol.

1 cubata = 100 ml x 0,3 = 30 ml de etanol.

TOTAL = 70 ml de etanol puro.

La masa de etanol correspondiente a esos 70 ml es de 56 g.

$$\text{La alcoholemia será igual a: } \frac{56 \text{ g de etanol}}{65 \text{ kg} \times 0,7} = 1,23 \text{ g/l}$$

1.4 El concepto de unidad de bebida estándar (UBE)

Dado que hay gran cantidad de bebidas alcohólicas y éstas se pueden tomar en distintos tipos de consumición (por ejemplo, corto de cerveza, caña, botellín, etc.), para simplificar la estimación de la cantidad de alcohol consumida se creó este término, que equivale a unos 10 gramos de alcohol.

Así un vaso de vino (100 ml) de 12°, contendría 1 UBE ($100 \times 12 \times 0.8 / 100 = 9,6$ gramos de alcohol absoluto), equivalente a la cantidad contenida en un botellín de cerveza de un quinto ($200 \times 5 \times 0,8 / 100 = 8$ gramos de alcohol absoluto).

Señalamos en la Tabla 2 diversas bebidas y las UBE correspondientes que suponen:

TIPO DE BEBIDA	VOLUMEN	RANGO DE GRADUACIÓN ALCOHÓLICA (GRADUACIÓN MEDIA)	GRAMOS DE ETANOL ABSOLUTOS POR CONSUMICIÓN	UNIDADES DE BEBIDA ESTÁNDAR (UBE)

FERMENTADAS

Vino	Vaso = 100 ml	10-15 (12)	9,6	1
Cerveza	Caña = 200 ml	4-9 (5)	8	1
Cerveza	Tercio = 330 ml	4-9 (5)	13,2	1,5
Sidra	Vaso = 100 ml	3-8 (5)	4	0,5
Cava	Vaso = 100 ml	10-15 (12)	9,6	1

DESTILADAS

Ginebra	Copa = 50 ml	40-42 (40)	16	2
Ron	Copa = 50 ml	40-42 (40)	16	2
Whisky	Copa = 50 ml	40-45 (42)	16,6	2

Tabla 2. Unidades de bebida estándar

1.5 Correlación de la concentración de etanol entre los tejidos

Es posible establecer una proporción entre la concentración de etanol en la sangre y los tejidos una vez completado el fenómeno de absorción y distribución del mismo, tal y como señalamos en la Tabla 3. La mayor concentración de etanol, una vez llegados al equilibrio de difusión, se debe al mayor porcentaje de agua de dicho tejido.

TEJIDO	COEFICIENTE TEJIDOS/SANGRE
Sangre total	1
Plasma o suero	1,15
Aire alveolar	0,0005
Orina	1,33
Saliva	1,18
Hígado	0,90
Bilis	0,99
Riñón	0,83
Humor vítreo	1,19
Cerebro	0,85
Líquido cefalorraquídeo	1,18

Tabla 3. Coeficientes de las concentraciones de etanol entre sangre total y otros tejidos del organismo una vez completada la distribución (tejidos/sangre)

Durante la fase de absorción, sin embargo, pueden existir grandes diferencias entre la concentración de alcohol etílico entre sangre arterial y venosa, incluso entre la sangre del corazón y la vena femoral, estando más concentrado el etanol en la sangre del corazón por su proximidad al tubo digestivo.

Desde el punto de vista médico y de investigación criminal la distribución más interesante es la del cerebro, puesto que los efectos tóxicos del etanol responsables de los actos delictivos son los que acaecen en el sistema nervioso central. El coeficiente de la concentración de alcohol cerebro/sangre es 0,85 porque el tejido cerebral tiene menos agua que la sangre.

Otro tejido muy interesante de señalar es el humor vítreo, cuya correlación de alcohol con la sangre va variando a lo largo de la absorción y distribución. En la fase de absorción las concentraciones de alcohol son mayores en la sangre que en el humor vítreo, llegando a un equilibrio entre ambas a las 2 horas de la ingesta. Tras este periodo, se llega a la correlación de 1,19 (humor vítreo/sangre), siendo por lo tanto de especial relevancia que se haya terminado la absorción para considerar este tejido en la investigación de la causa de muerte de un sujeto.

1.6 Metabolismo del etanol

En el caso del etanol, el metabolismo es su eliminación del organismo. El mecanismo principal de eliminar el etanol es en primer lugar mediante su oxidación a acetaldehído, que se realiza en el 90-95% de los gramos de etanol que se ingieren. Un 5-10% de etanol se elimina sin oxidar en el aire espirado, orina y sudor. El porcentaje amplio de alcohol que puede escapar de la oxidación (10%)

se da sólo en los casos de ingesta de una elevada cantidad de etanol. La oxidación del etanol se realiza mayoritariamente en el hígado, pudiendo realizarse también en la mucosa gástrica.

La eliminación del etanol a través de las vías metabólicas se hace en tres etapas. El primer paso metabólico es la oxidación por la vía principal de la enzima alcohol deshidrogenasa a acetaldehído, que es muy volátil y tóxico. El etanol se convierte en acetaldehído por la acción de tres enzimas:

1. Alcohol deshidrogenasa (ADH). En individuos no alcohólicos, el 90-95% de la oxidación del etanol se realiza por medio de la enzima ADH.

Las mujeres tienen un nivel más bajo de actividad ADH gástrico que el hombre y éste es el segundo motivo por el que, a igualdad de otros parámetros, la misma cantidad de etanol alcanza en la mujer una mayor etanolemia que en el varón. La actividad de la ADH disminuye también tras ayunos prolongados, los regímenes hipocalóricos o pobres en proteínas y otras carencias. Los factores genéticos hacen que determinadas poblaciones sean más sensibles al alcohol etílico: por ejemplo, el 40% de los japoneses tienen déficit de la enzima ADH de tipo mitocondrial y son más susceptibles a los efectos del alcohol, especialmente al enrojecimiento facial o efecto antabús.

2. Sistema oxidativo microsomal del etanol (MEOS). Es un sistema enzimático dependiente del citocromo P-450 que está en el retículo endoplásmico liso del hepatocito. Contribuye con el 5-10% a la oxidación del etanol en bebedores moderados, pero su actividad aumenta significativamente en bebedores crónicos hasta un 25%. Cuando los niveles de alcoholemia son altos se activa el sistema MEOS que contribuye a disminuir rápidamente los niveles.
3. Sistema catalasa-peroxidasa dependiente del peróxido de oxígeno. La contribución de este sistema en la oxidación del etanol es mínima.

Algunos estudios apuntan que la oxidación del alcohol aumenta tras la ingestión de glucosa o por el esfuerzo muscular, por activación de esta vía por acúmulo de la coenzima NAD.

La segunda etapa metabólica de eliminación del etanol es la formación de acetato o ácido acético por la acetaldehído-deshidrogenasa, enzima que es inhibida por el fármaco disulfiram. La actividad de la acetaldehído-deshidrogenasa disminuye en caso de enfermedad hepática, con el consiguiente aumento de la concentración sanguínea de acetaldehído, responsable del efecto antabús.

La tercera etapa metabólica es la síntesis, a partir del acetato, de acetil coenzima A por medio de la coenzima A ligasa.

En condiciones ideales, y desde el punto de mayor concentración alcanzada en la sangre, existe una degradación del alcohol ingerido que se realiza a velocidad constante a nivel hepático. El metabolismo del etanol, salvo excepciones, se considera que sigue una cinética de orden 0, es decir, independiente de las concentraciones. Existe una constante que se denomina coeficiente de etil oxidación (ϵ) y que se calcula que es de 0,0025 en los varones y de 0,0026 en las mujeres. Las unidades de este coeficiente son gramos de alcohol etílico ingeri-

do partido kilogramo de peso y, a su vez, dividido por minuto (g/kg/minuto). Esto equivale, en un adulto de 70 kg de peso, a catabolizar 0,175 g de etanol por minuto, o lo que es lo mismo, a una velocidad más o menos constante de 0,15-0,20 g/l por hora, en individuos de raza caucásica sanos no habituados. La bibliografía señala en €una variación de hasta un 20%.

La bibliografía señala que cada 9 gramos de etanol ingerido (aproximadamente 1 UBE), se precisa de 1 hora para catabolizarlo como media desde el pico máximo de concentración en sangre, existiendo una oscilación entre 7-16 gramos de etanol ingerido que se puede eliminar por hora, según habituación o activación enzimática de determinadas personas y estando el hígado sano. Así pues, resulta de interés la Tabla 4, que es orientativa sobre el tiempo necesario de eliminación del alcohol, una vez absorbida totalmente la bebida.

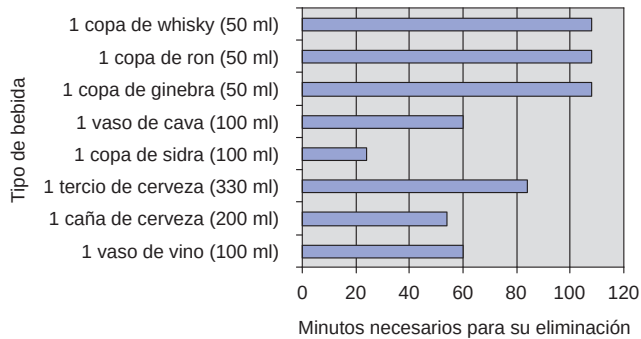


Tabla 4. *Tiempos de eliminación del alcohol*

Los factores de los que depende la velocidad de eliminación son fundamentalmente el tamaño del hígado, el estado enzimático del sujeto y su adaptación a la oxidación hepática, que provocaría una inducción enzimática. Como ya hemos descrito, en individuos no habituados la oxidación se efectúa por la enzima alcohol deshidrogenasa y cuando existe una ingesta crónica se da una activación del sistema microsomal hepático que se encarga de catabolizar el etanol a una velocidad mucho mayor.

También se ha observado que a concentraciones de etanol en sangre extremadamente elevadas (7 g/l) el proceso de catabolización puede pasar a una cinética de primer orden, es decir, influida por las concentraciones. En estos casos aumentaría la eliminación por vía pulmonar y renal.

1.7 Cálculo de una alcoholemia anterior al momento de la toma de la muestra

Atendiendo a lo señalado anteriormente de la oxidación constante del etanol a lo largo del tiempo, se puede conocer la concentración inicial de alcohol en sangre en un momento determinado (C_0) a partir de la concentración en el momento de la extracción (C_t), mediante la fórmula, también derivada de los estudios de Widmark:

$$C_0 = C_t + (\epsilon \times t)$$

C_o = concentración de alcohol en sangre o alcoholemia inicial, la incógnita en el momento de suceder los hechos.

C_t = alcoholemia en el momento de la extracción.

ϵ = coeficiente de etil oxidación. Suele considerarse 0,0025 como media entre varones y mujeres de peso medio (70 kg).

t = el tiempo en minutos pasado desde el momento que nos interesa (o) hasta la extracción. Es el tiempo que separa (o) de (t).

Para la validez de estos cálculos es preciso que nos encontremos en un periodo en el que se haya completado totalmente la absorción del etanol, es decir, en la fase de declive de la curva de alcoholemia. La mayoría de los autores señalan que ha de haber pasado un mínimo de una hora y media tras la última ingesta para poderse aplicar esta fórmula.

A pesar de todo, debe considerarse al emitir un informe pericial el rango de error existente en el resultado y que aparece al conjugar las diferentes incertidumbres posibles. El coeficiente de variación se estima en un 21,2% al calcular C_t y en un 12,3% al calcular el número de bebidas ingeridas de forma retrospectiva, según Gullberg (2007).

Ejemplos:

1. Calcule la alcoholemia de un sujeto de 70 kg en el momento del accidente de tráfico a las 12:00 horas, sabiendo que la alcoholemia a las 12:45 horas a. m. es de 2 g/l.

$$C_o = C_t + (\epsilon \times t)$$

$$C_o = 2 + (0,0025 \times 45) = 2 + 0,11 = 2,11 \text{ g/l}$$

2. ¿Qué cantidad de alcohol en gramos ingirió un sujeto de 100 kg a las 23:00 horas, si sabemos que a las 24:00 horas se le extrajo sangre en el servicio de urgencias del hospital y tenía 0,5 g/l? ¿Cuántas jarras de cerveza de 250 ml ha ingerido aproximadamente?

$$C_o = C_t + (\epsilon \times t)$$

$$C_o = 0,5 + (0,0025 \times 60) = 0,5 + 0,15 = 0,65 \text{ g/l}$$

Esta alcoholemia en un individuo de 100 kg supone:

$$C = \frac{\text{Etanol ingerido (gramos)}}{\text{Peso individuo (kg)} \times Vd (\text{varón } 0,7 \text{ y mujer } 0,6)}$$

$$\text{Etanol (g)} = 100 \times 0,7 \times 0,65 = 45,5 \text{ g de etanol.}$$

$$\text{Como la masa (g)} = \rho \times V; V = \text{masa} / \rho \quad V = 45,5 / 0,8 = 56,9 \text{ ml.}$$

Si cada cerveza tiene un 4% de etanol, cada una de 250 ml tiene 10 ml de etanol.

$$56,9 \text{ ml} / 10 \text{ ml de etanol de cada jarra de cerveza} = 5,7.$$

El sujeto ha tomado como mínimo 5 jarras de cerveza (de 250 ml cada una).

2. TOXICODINAMIA DEL ETANOL

El mecanismo de acción tóxica del etanol no se conoce por completo y todavía se encuentra en investigación. Es una sustancia que actúa como depresora del sistema nervioso central. Según la última hipótesis de su mecanismo de acción, sus efectos son una consecuencia directa de su acción sobre las membranas celulares y sobre los receptores de los neurotransmisores de acción inhibitoria (ácido gamma hidroxibutírico o GABA) o los monoaminérgicos (serotonina o dopamina), así como los neurotransmisores de acción estimulante (NMDA).

Se potencian los efectos depresores del etanol cuando se consume junto a otras drogas de abuso o fármacos con efectos similares: sedantes, hipnóticos, anticonvulsionantes, antidepresivos, tranquilizantes, analgésicos, opiáceos, etc.

Por otra parte, el etanol posee otro mecanismo de acción tóxica que es la interferencia sobre los sistemas enzimáticos de la síntesis de glucosa (inhibiendo el ciclo de Krebs). La intoxicación por alcohol etílico produce hipoglucemias que pueden ser mortales.

Al ingerir alcohol etílico, los niveles bajos del acetaldehído resultante de su oxidación pueden causar estimulación y refuerzo del comportamiento. Pero cantidades elevadas de éste acumuladas en hígado, cerebro u otros órganos pueden causar lesiones de dichos tejidos, siendo responsable de los cuadros que referiremos posteriormente.

Dosis y efectos tóxicos del alcohol etílico

En líneas generales, para individuos con un consumo leve o moderado de alcohol pueden realizarse estas correlaciones de concentración de alcohol etílico en sangre y clínica, que es la que se utiliza como base de los niveles permitidos en la circulación y manejo de aparatos peligrosos:

- < 0,1 g/l (de sangre): se considera que no sucede nada en individuos normales.
- 0,1-0,3 g/l: puede no alterarse ninguna función pero puede aparecer una disfunción visual mínima.
- 0,3-0,5 g/l: se presenta locuacidad y desinhibición. Disminuye la capacidad de atención y aumenta el tiempo de reacción visual y auditiva.
- 0,5-0,7 g/l: aparece una pérdida del 15% de la visión de lejos. Aumenta el tiempo de reacción. Se altera de forma variable la voluntad, memoria y atención.
- 0,7-0,9 g/l: falta de control de los reflejos en las curvas en la conducción. Se puede detectar la marcha atáxica al pedirle al individuo que camine en línea y se pierde la destreza manual óptima.
- 0,9-1,5 g/l: embriaguez ligera general y el individuo habla mal, farfullando. Se pierde un 70% de la visión de lejos y aparecen vértigos.

- 1,5-2 g/l: a esta concentración suceden la mitad de los accidentes de tráfico, habiendo acontecido ya la otra mitad a concentraciones menores. La persona puede estar eufórica e irritable. Aparece dificultad para memorizar, escribir y ataxia más notoria al caminar. Hay individuos que pueden, no obstante, falsear la situación y dar impresión de normalidad.
- 2-3 g/l: embriaguez neta con habla no comprensible. Los individuos están notablemente irritables, pueden hablar solos, etc. Es típica la marcha en zigzag y la evaluación incorrecta de las distancias.
- 3-4 g/l: aparece estupor, con respuesta del individuo ante estímulos dolorosos.
- 4-5 g/l: suele existir coma en los sujetos no habituados al etanol, pérdida de reflejos e hipotermia.
- > 5 g/l: muerte, salvo en alcohólicos crónicos, que puede alcanzarse hasta 8 g/l sin producirse el fallecimiento. Se considera dosis letal del etanol en adultos unos 3 gramos de etanol por kilogramo de peso del individuo.

Por poner un ejemplo, tomar 1 o 2 copas eleva la alcoholemia a niveles entre 0,2-0,3 g/l (igual a 20-30 mg/dl). A efectos legales se define intoxicación alcohólica como una alcoholemia de 0,8-1 g/l (igual a 80-100 mg/dl), si bien se ha comprobado que los cambios de comportamiento psicomotores y cognitivos aparecen ya con concentraciones tan bajas como 0,2-0,3 g/l. Por este motivo, los límites legales vigentes para la conducción son 0,5 g/l (igual a 50 mg/dl) y 0,3 g/l (igual a 30 mg/dl) para los conductores noveles y los profesionales.

3. CLÍNICA DE LA INTOXICACIÓN ETÍLICA AGUDA

Las manifestaciones más relevantes de la intoxicación etílica aguda son los cambios conductuales desadaptativos, como son la desinhibición de impulsos sexuales o agresividad, labilidad emocional, deterioro de la capacidad de juicio y de la actividad social o laboral, lenguaje farfullante, descoordinación, marcha inestable, rubor facial, cambio del estado de ánimo, irritabilidad, locuacidad y disminución de la capacidad de atención. La conducta habitual del sujeto puede acentuarse o alterarse. A veces se asocia una amnesia de los acontecimientos durante la intoxicación.

Se han establecido cuatro estadios clínicos en función de la tasa de alcoholemia referida anteriormente:

1. Embriaguez leve (alcoholemia de 0,5-1,5 g/l): descenso del rendimiento psicomotor y desinhibición general.
2. Embriaguez moderada (alcoholemia de 1,5-2,5 g/l): reflejos alterados, irritabilidad y disforia, irreflexividad e impulsividad.
3. Embriaguez grave (alcoholemia de 2,5-4 g/l): trastorno de conciencia y pérdida de contacto con la realidad. Aparición de temblor, ataxia, estupor y obnubilación.

4. Coma (alcoholemia > 4 g/l): el sujeto está inconsciente y comatoso y puede morir por parada respiratoria. El coma suele ser profundo sin signos de focalidad. Se presenta hipotermia, midriasis bilateral poco reactiva, hipotonía, abolición de los reflejos osteotendinosos, bradicardia, hipotensión y depresión respiratoria.

El cuadro de intoxicación etílica aguda puede presentar los siguientes signos y síntomas:

- Cuadro de depresión del sistema nervioso central, que puede oscilar desde el aletargamiento hasta el coma (con muerte posible).
- En intoxicaciones con más de 3-5 g/l puede aparecer desviación de la mirada conjugada, rigidez de las extremidades en extensión, signo de Babinski unilateral o bilateral, convulsiones y trismo.
- Vasodilatación micro y macrovascular, que conlleva a hipotermia. La hipotermia está favorecida por la primera fase de vasodilatación cutánea y sensación de calor, con aumento de las pérdidas calóricas y también pérdida de termostato central de la temperatura. La intoxicación alcohólica junto con las drogas de abuso y los trastornos psiquiátricos son las causas más frecuentes de hipotermia.
- Hipoglucemia, que puede ser muy grave. El coma hipoglucémico es una causa frecuente de urgencia en un intoxicado agudo por alcohol, y se puede producir una muerte súbita si no se trata rápidamente. El cuadro es debido a la depleción de los depósitos de glucógeno junto con la inhibición de la formación de glucosa. Se ha observado que en algunos enfermos con cirrosis el accidente hipoglucémico precede o acompaña a una septicemia.
- Depresión respiratoria y riesgo de aspiración de contenido gástrico en las vías aéreas.
- Arritmias cardíacas supraventriculares: la más frecuente es la aparición de fibrilación ventricular.

Las complicaciones más frecuentes y graves son la aspiración, que suele ser la causa de la mayoría de las muertes, las crisis convulsivas y la hipotermia. Les siguen de lejos por los trastornos del ritmo supraventricular, la hipoglucemia (sobre todo presente en el etilismo crónico o diabetes), la cetoacidosis alcohólica (presente en el etilismo crónico), gastritis aguda, síndrome de Mallory-Weiss, hepatitis aguda alcohólica y rabdomiolisis.

Es preciso señalar por su curiosidad la denominada embriaguez patológica, que es la que sucede en individuos con baja concentración de alcohol en sangre. Suele ser debida a alteración en las enzimas hepáticas responsables de la eliminación del alcohol y puede estar asociada a determinados rasgos genéticos y raciales. Suelen presentarse tres formas:

1. La forma alucinatoria: aparición de alucinaciones auditivas y visuales de contenido amenazador que hace reaccionar al individuo con violencia.

2. La forma delirante: los temas pueden ser muy variados: ideas de persecución, envidia, megalomanía, etc.
3. La forma excitomotriz: hiperproducción verbal y gestual, que puede conducir a actos delictivos tales como peleas, accidentes, etc.

Este tipo de intoxicación requiere un ingreso hospitalario, y se trata administrando un neuroléptico muy sedante.

4. DIAGNÓSTICO DE LA INTOXICACIÓN ETÍLICA AGUDA

Nos referimos al diagnóstico que se efectúa en el lugar de la intoxicación o en un centro sanitario y que posteriormente puede tener implicaciones legales. Aunque el diagnóstico es principalmente clínico, es necesario cuantificar la alcoholemia para evaluar al paciente adecuadamente.

El hecho de considerar sólo que el individuo presente un aspecto externo sugestivo o huela a etanol puede dar lugar a errores en la actuación profesional. El olor del aliento no se correlaciona bien con el nivel de intoxicación. Además, el «olor a alcohol» al que se refiere frecuentemente en la historia clínica o atestados policiales no se debe al etanol propiamente sino a los aditivos de la bebida, así como a la producción de acetaldehído por parte del intoxicado y su eliminación por vía aérea. Por otra parte, el «olor a alcohol» puede ser muy variable en individuos cuya ingesta haya sido hace horas, y ser muy notable si la ingesta ha sido inmediata y se metaboliza muy rápido a acetaldehído aunque éstos estén sobrios. Se presenta también en individuos que han ingerido cerveza sin alcohol, por poseer esta bebida las demás sustancias volátiles que dan lugar a ese olor, y no se detecta en los que consumen alcohol de grano.

Desde el punto de vista clínico y médico-legal, el procedimiento empleado en el diagnóstico de certeza de la concentración de alcohol etílico es la cromatografía de gases con espaciador de cabeza. De forma orientativa o de *screening*, pueden emplearse el test de etanol en el aire espirado o tiras reactivas, que indican la concentración rápida de alcohol en saliva y orina. Por último, existen marcadores biológicos de ingesta reciente que pueden resultar de utilidad; se trata de la medición de metabolitos y proteínas que se incrementan en la intoxicación aguda por los efectos tóxicos y metabólicos del etanol (5-Hidroxitriptofol y B-Hexosamina, por ejemplo).

Otro análisis que se está desarrollando recientemente es la detección de ácido etil-glucurónico, que es un metabolito no volátil que se produce en la oxidación del alcohol etílico y que es detectable hasta 80 horas después de la ingesta en orina.

También puede detectarse en sangre, hígado, médula ósea e incluso cabello, si bien la fiabilidad de los resultados en este último tipo de muestra es inferior con respecto a la orina.

5. DIAGNÓSTICO DIFERENCIAL DE UNA INTOXICACIÓN ETÍLICA AGUDA

El diagnóstico diferencial correcto es un proceso vital en la atención a los intoxicados por alcohol etílico. Se calcula que hasta un 16% de las aparentes intoxicaciones etílicas no son tales, o están complicadas, por ejemplo, con un traumatismo craneoencefálico (TCE). En un cuadro de intoxicación etílica aguda aplicando el tratamiento adecuado se debe producir la regresión de los síntomas a las 3-6 horas siguientes. Inicialmente y sobre todo si no existe dicha regresión, se debe realizar un diagnóstico diferencial con:

1. Hematoma subdural: debe existir el antecedente de traumatismo externo y no se presenta alcohol elevado en sangre. En toda persona en la que se sospeche TCE debe realizarse una tomografía axial computerizada (TAC) para descartar hemorragias cerebrales. Este hematoma sería visualizable en el TAC y el paciente no tendría respuesta al tratamiento de intoxicación etílica.

Por otro lado la mitad de estos TCE están asociados con una intoxicación etílica. Cuando se presenta junto a un TCE la intoxicación etílica aguda, se han descrito déficits precoces (en las primeras 8 horas) de los iones de Mg y Ca, así como un aumento de la relación Ca/Mg (un signo de reactividad vascular aumentada y del tono vascular). Estos datos podrían ser utilizados como marcadores en casos de TCE e ingestión alcohólica simultánea. También se ha visto que cuando se dan estos dos factores el tiempo de hospitalización aumenta. Además, se pueden determinar niveles de adrenalina y dopamina, que se encuentran elevados en las lesiones intracraneales y pueden servir como marcadores.

2. Meningitis: el alcohol no se presentará elevado y normalmente existe fiebre y convulsiones más frecuentes.
3. Hipotermia: en este caso no tiene por qué haber alcohol en sangre; el único hallazgo patológico será la baja temperatura del sujeto, su disminución de conciencia, etc.
4. Alteraciones metabólicas: incluimos aquí la cetoacidosis diabética, que daría un aliento parecido al del individuo intoxicado con alcohol, y la cetoacidosis alcohólica, que puede acontecer sin niveles tóxicos de alcohol en sangre.
5. Sepsis: existiría alcoholemia negativa, fiebre y bacteriemia positiva.

6. TRATAMIENTO DE LA INTOXICACIÓN ETÍLICA AGUDA

Las pautas de actuación de los profesionales sanitarios en este caso son las propias de una urgencia y se sintetizan en:

1. Vigilancia de la permeabilidad de vías aéreas, existencia de ventilación y pulso. Si acontece la asistencia fuera del hospital o centro sanitario y está el intoxicado inconsciente una vez verificado lo anterior, se tendrá que

aguardar a los sanitarios manteniendo al sujeto tumbado en posición de seguridad para evitar la aspiración de los vómitos.

2. Toma de muestras.
3. Tiamina 100 mg intravenosa o intramuscular, previamente a la administración de glucosa, de modo preventivo de la encefalopatía de Wernike, que es el cuadro neurológico originado por la deficiencia nutricional en especial de tiamina (vitamina B₁). Este cuadro se caracteriza por una triada de síntomas: perturbaciones de la conciencia (obnubilación o coma), alteraciones del equilibrio (cerebelosas o vestibulares) y signos oculares (aparición de nistagmo, parálisis del nervio ocular externo). También podemos hallar hipotensión ortostática, hipotermia, coma y muerte súbita.
La gravedad de estos síndromes justifica la administración profiláctica de tiamina 100 mg intramuscular en los enfermos con episodios de alcoholización aguda sobre todo cuando se perfunden sueros glucosados.
4. Instauración de la hidratación intravenosa con suero y glucosa.
5. Si es muy elevada la alcoholemia y la situación de enfermo es muy grave, puede practicarse la eliminación extracorpórea mediante hemodiálisis.

7. ASPECTOS DE INTERÉS DE LA INTOXICACIÓN CRÓNICA POR ALCOHOL ETÍLICO

7.1 *El fenómeno de la dependencia y la tolerancia etílica*

El alcohol etílico produce tolerancia por la inducción enzimática señalada anteriormente y dependencia. Tras una o dos semanas de consumo, el hígado aumenta el metabolismo del etanol hasta un 30% creando una cierta tolerancia metabólica; más tarde se producen cambios a nivel de membrana (tolerancia celular) lo cual podría contribuir a la dependencia física. Cuando se lleva a cabo una ingesta crónica, el organismo aprende a adaptar el comportamiento y a funcionar mejor bajo la influencia de la sustancia (tolerancia del comportamiento). En este punto los cambios estructurales y bioquímicos sufridos tardan semanas en recuperarse si se abandona el alcohol, a la vez que las neuronas necesitan su nivel apropiado de alcohol para funcionar perfectamente: es entonces cuando podría afirmarse que la persona se ha hecho físicamente adicta o dependiente.

No todas las personas que beben tienen necesariamente que depender de la bebida. La dependencia es el estado extremo de un continuo espectro de problemas relacionados con el consumo de alcohol.

7.2 *Dependencia alcohólica y abuso de etanol*

La OMS en 1976 acuñó el término de síndrome de dependencia alcohólica que corresponde a «un estado psíquico y habitualmente también físico resultado del consumo de alcohol, caracterizado por una conducta y otras respuestas que

siempre incluyen compulsión para ingerir alcohol de manera continuada o periódica, con objeto de experimentar efectos psíquicos o para evitar las molestias producidas por su ausencia».

Los criterios DSM-IV TR (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*) de la *American Psychiatric Association* de 2002 son los mejor definidos para el diagnóstico de dependencia alcohólica, estableciendo que esta dependencia existe cuando durante al menos 12 meses se presenta un patrón desadaptativo de consumo que conlleva un deterioro o malestar clínicamente significativos, expresado por 3 (o más) de los ítems siguientes:

1. Tolerancia, definida por cualquiera de los siguientes ítems:
 - a) Una necesidad de cantidades marcadamente crecientes de alcohol para conseguir la intoxicación o el efecto deseado.
 - b) El efecto de las mismas cantidades de alcohol disminuye claramente con su consumo continuado.
2. Abstinencia, definida por cualquiera de los siguientes ítems:
 - a) El síndrome de abstinencia característico para el alcohol.
 - b) Se toma el alcohol (o algo parecido) para aliviar o evitar los síntomas de abstinencia.
3. La sustancia es tomada con frecuencia en cantidades mayores o durante un periodo más largo de lo que inicialmente se pretendía.
4. Existe un deseo persistente o esfuerzos infructuosos de controlar o interrumpir el consumo de alcohol.
5. Se emplea mucho tiempo en actividades relacionadas con la obtención de la sustancia (por ejemplo, visitar a varios médicos o desplazarse largas distancias), en el consumo del alcohol o en la recuperación de los efectos del alcohol.
6. Reducción de importantes actividades sociales, laborales o recreativas debido al consumo del alcohol.
7. Se continúa tomando el alcohol a pesar de tener conciencia de problemas psicológicos o físicos recidivantes o persistentes, que parecen causados o exacerbados por el consumo del alcohol (por ejemplo, continuada ingesta de alcohol a pesar de que empeora una úlcera).

Por otra parte, se define el abuso de alcohol como la repetición de problemas asociados al alcohol durante al menos 12 meses en 1 o más de las siguientes 4 áreas vitales (DSM-IV TR):

1. Incapacidad para cumplir las obligaciones principales: consumo recurrente de sustancias, que da lugar al incumplimiento de obligaciones en el trabajo, la escuela o en casa (por ejemplo, ausencias repetidas o rendimiento pobre relacionados con el consumo de alcohol; ausencias, suspensiones o expulsiones de la escuela relacionadas con el alcohol; descuido de los niños o de las obligaciones de la casa, etc.).
2. Consumo recurrente de la sustancia en situaciones en las que hacerlo es físicamente peligroso (por ejemplo, conducir un automóvil o accionar una máquina bajo los efectos del alcohol).

3. Problemas legales repetidos relacionados con la sustancia (por ejemplo, arrestos por comportamiento escandaloso debido al alcohol).
4. Consumo continuado de la sustancia, a pesar de tener problemas sociales continuos o recurrentes o problemas interpersonales causados o exacerbados por los efectos de la sustancia (por ejemplo, discusiones con la esposa acerca de las consecuencias de la intoxicación o violencia física).

Además, se incluye como criterio diagnóstico en el DSM-IV TR que los síntomas no hayan cumplido nunca los criterios para la dependencia de alcohol referidos anteriormente.

El médico debe ser consciente de que hasta el 20% de sus pacientes pueden tener uso problemático del alcohol. Se requiere cierta habilidad en la formulación de las preguntas para evitar que el paciente se sienta juzgado por el médico y disimule o minimice su consumo real. Puede recurrirse a preguntas indirectas (¿tiene la costumbre de beber fuera de las comidas?, ¿y en ayunas?, ¿cuándo tomó la última copa?).

Existe un instrumento muy utilizado en asistencia primaria para el cribado del consumo excesivo de alcohol. Se trata del cuestionario CAGE (*Cut-down, Annoyed, Guilty, Eye-opener*).

CUESTIONARIO CAGE

1. ¿Ha tenido en alguna ocasión la impresión de que debería beber menos?
2. ¿Le ha molestado alguna vez que la gente le critique por su forma de beber?
3. ¿Se ha sentido culpable por su hábito de beber?
4. ¿Alguna vez le ha ocurrido que la primera cosa que ha hecho por la mañana ha sido tomar una copa para calmar los nervios?

Ésta es la traducción al castellano validada para España. A un punto de corte de 2 respuestas afirmativas tiene una sensibilidad del 75% y una especificidad del 96%. Se considera el instrumento ideal para el cribado extrahospitalario. Existen otros cuestionarios: MAST (*Michigan Alcoholism Screening Test*) y AUDIT (de la OMS), más sensibles y específicos, pero más largos y menos utilizados en España.

Aunque se detallen estos aspectos diagnósticos cualitativos para referirnos al alcoholismo crónico, también hay referencias más o menos relativas en cuanto a cantidades de alcohol ingerido. No obstante, estas orientaciones pueden variar en el caso del sexo, edad, peso, etc. Cabe citar que existe un claro consenso en considerar que consumos de 100 g de etanol al día son perjudiciales para la salud e incluso ya a partir de la ingesta diaria y continuada de 40 g/día pueden aparecer alteraciones patológicas importantes. Epidemiológicamente, se clasifica como «consumo moderado» la ingesta de menos de 20 g/día en la mujer y menos de 30 g/día en el varón.

Por último, existen unos marcadores bioquímicos aceptados para el diagnóstico de consumo crónico de alcohol aunque, según numerosos autores, tienen menor sensibilidad y especificidad que el cuestionario CAGE. Estos marcadores son la medición en sangre de la elevación de la Gamma-Glutamil Transpeptidasa, del volumen corpuscular medio, de la transferrina deficiente de carbohidratos (CDT) y del colesterol, entre otros. Entre ellos, el de mayor utilidad y fiabilidad es la CDT, que se eleva con la ingesta durante una o dos semanas de 50-80 g/día de alcohol etílico. La CDT tiene una vida media de unos 15 días, con lo que podemos diagnosticar dicho consumo crónico siempre que la última ingesta haya sido en esta ventana de detección.

7.3 Problemas médicos asociados con el consumo crónico de etanol

En el consumo crónico de alcohol etílico los efectos patológicos que produce el etanol son debidos a la acción sobre los sistemas enzimáticos de la nutrición y por la lesión tisular de prácticamente todos los tejidos del organismo. En los pacientes diagnosticados de alcoholismo crónico pueden aparecer los siguientes cuadros clínicos:

- Desnutrición: cada gramo de etanol proporciona sólo 7,1 kcal, carentes de valor nutritivo al no aportar proteínas, grasas, hidratos de carbono ni micronutrientes. Además, el uso de alcohol interfiere en la correcta absorción de determinadas sustancias en el intestino o su acumulación en el hígado. En los alcohólicos suelen estar bajos los niveles de folato, ácido nicotínico, tiamina (vitamina B₁), piridoxina (vitamina B₆), potasio, magnesio, calcio, zinc y fosfato.
- Cetoacidosis alcohólica: trastorno metabólico grave que puede ocasionar la muerte. Se debe a la tendencia a presentar intolerancia hidrocarbonada.
- Síndrome de abstinencia: cuadro de agitación y ansiedad por la ausencia de alcohol que puede suceder a las 6-24 h de cese de ingesta.
- Delirium tremens: puede aparecer en pacientes de más de 15 años de ingesta crónica de alcohol y es la forma más grave del síndrome de abstinencia alcohólica. Incluye en su sintomatología un temor incontrolable, insomnio, temblores, inquietud progresiva, alucinaciones visuales, auditivas o gustativas y delirio. Existe hiperreflexia, taquicardia y convulsiones. Este cuadro tiene una mortalidad del 10%, casi siempre debida a infecciones (generalmente por broncoaspiraciones), pérdida de líquidos y electrolitos, colapso circulatorio e iatrogenia en un intento de controlar la agitación y las convulsiones.
- Encefalopatía alcohólica subaguda: delirio alcohólico subagudo, también llamado simple, de Lasègue o encefalopatía alcohólica subaguda. Habitualmente tiene un inicio nocturno (favorecido por la privación sensorial) con confusoonirismo agitado, pesadillas, posible delirio ocupacional e incluso onirismo animal. Más raramente pueden aparecer componentes

auditivos, olfativos o de la sensibilidad. Un signo patognomónico lo constituyen las alucinaciones inducidas (se muestra un papel en blanco y se insiste en que el paciente diga qué ve en él) puesto que aparecen justo antes de que el delirio eclosiona totalmente. Este estado alucinatorio se intercala con momentos de clara lucidez lo que genera gran ansiedad y desorientación. El estado general se conserva, salvo cierta taquicardia y sudación.

- Otras afecciones orgánicas graves que acontecen en pacientes con consumo excesivo crónico de alcohol son la cardiomegalia, la hepatomegalia, la cirrosis hepática y la gastritis crónica.

ANÁLISIS TOXICOLÓGICO FORENSE DE LA INTOXICACIÓN POR ALCOHOL ETÍLICO

En este apartado vamos a centrarnos en el análisis toxicológico de la intoxicación aguda por etanol, dado que es la que mayor interés legal tiene en cuanto a la validez de las técnicas. Desde el punto de vista forense, las muestras más frecuentemente empleadas son sangre y aire espirado, seguidas por orina y saliva.

1. DETECCIÓN DEL ALCOHOL EN EL AIRE ESPIRADO

El método más práctico que existe actualmente para descartar una intoxicación etílica es el test de etanol en aire espirado. Esta detección es posible porque el etanol es una molécula de bajo peso molecular y se elimina por el aliento. La base de este análisis se encuentra en que aproximadamente a los 15 minutos de haber ingerido una bebida alcohólica, la concentración de etanol en el aire espirado de origen alveolar refleja la concentración de etanol en la sangre que circula por los pulmones. El aparato que se emplea para esta detección en el aire espirado es denominado alcoholímetro. Por medio de éste detectamos el volumen de etanol en el aire.

Existe una correlación entre la concentración de etanol en el aliento y la sangre alveolar de aproximadamente 2.300/1, pero en España se emplea la de 2.000/1. Esto significa que la concentración de etanol en 2 litros de aire equivale a la concentración de etanol en 1 ml de sangre alveolar.

Cabe señalar para evitar errores de cálculo que la alcoholemia es la concentración de etanol o alcohol en sangre y se mide en gramos por litro de sangre (g/l), en mg/100 ml, mg/dl o mg/ml. La concentración de etanol en el aire espirado se mide en miligramos de etanol por litro de aire (mg/l).

En el test de etanol en aire espirado pueden plantearse diversos falsos positivos y negativos. Un falso positivo significa que se detecta positivo en el test de etanol en el aire espirado pero en realidad éste no está en la sangre o se están

mediando otros alcoholes, compuestos o elementos aromáticos volatilizados. De forma teórica, esta situación puede contemplarse en el caso de:

- Presencia en el individuo de ayuno de larga duración o diabetes descompensada, por la interacción en la medición del etanol de los cuerpos cetónicos.
- Ingesta reciente de alcohol: se está detectando el alcohol que se ha quedado en la boca. En este caso, es necesario dejar pasar unos 15 minutos antes de realizar la prueba. También hay que tener precaución en caso de vómito o regurgitación reciente.
- Enjuague con colutorios mentolados o toma de caramelos o chicles con sustancias fuertemente mentoladas.
- Ingesta de medicamentos con alcoholes aromáticos.

Por su parte, un falso negativo comporta que el test de etanol en el aire espirado no detecta nada pero realmente el sujeto supera el nivel de etanol permitido en sangre. Algunos factores implicados identificados son:

- Soplar con poca intensidad y que no llegue el aire alveolar sino el traqueal o bronquial al aparato, en el caso de una ingesta de al menos una hora antes. Esto podría dar falsos positivos si ha habido ingesta reciente de alcohol.
- Ingesta de algamato, que interfiere con la detección del aparato del etanol volatilizado.
- Haber mascado hierbabuena o granos de café, que tienen la capacidad de enmascarar el etanol volatilizado.

Los falsos positivos y negativos eran más habituales con los dispositivos de primera generación y se encuentran ampliamente reducidos en los actuales de muestreo (Alcotest 7410 de Dräger), siendo casi nulos en el Alcotest 7110 MK III de Dräger, aprobado por la Orden Ministerial de 27 de julio de 1994. Este último es el denominado análisis evidencial, que conjuga 2 modos de detección y cuantificación del alcohol: un sensor electroquímico y una detección de la absorción de radiación infrarroja. En el caso del Alcotest 7410 de Dräger, o análisis de muestreo, sólo existe la detección del alcohol por medio del sensor electroquímico y existe un índice de error de 0,05 mg/l en alcoholemias de 0-1 mg/ml y un error del 5% en alcoholemias por encima de 1 mg/l.

Sí que es preciso señalar que existe un error, denominado efecto Tyndall, de un $\pm 5\%$ de la medición, debido a la presencia de sustancias reductoras volátiles, en el caso de haber fumado en los últimos 15 minutos previos a la detección.

2. DETECCIÓN DEL ALCOHOL EN LA SANGRE

El método más sensible y específico para la medición del etanol en sangre es la cromatografía de gases con espaciador de cabeza. De hecho, es el único método con validez judicial probatoria que no requiere más comprobaciones posteriores con otras técnicas, a diferencia del test de etanol en aire espirado.

Para su validez judicial, se deben seguir en la obtención de la muestra las normas de la Orden de 8 de noviembre de 1996 por la que se aprueban las normas para la preparación y remisión de muestras objeto de análisis por el Instituto de Toxicología. Se procederá, previo consentimiento informado del sujeto, a la extracción de 5 ml de sangre llenando el tubo por completo sin dejar cámara de aire, habiendo empleado una jeringuilla de polietileno de un sólo uso. Se debe limpiar la zona antes de la extracción con suero o agua jabonosa, pero nunca con alcohol. El tubo puede ser el habitualmente empleado para la extracción de otras muestras, con 50 mg de oxalato potásico como anticoagulante y 50 mg de fluoruro sódico como conservante para evitar el crecimiento bacteriano, procediendo a mezclar bien una vez llenado el mismo. Se procurará evitar que la muestra reciba calor, manteniéndola en un frigorífico (4 °C) siempre que sea posible. Para su envío se introducirá el vial protegido en otro envase. Si la muestra se toma con fines judiciales, se debe extraer dos tubos de sangre y almacenar uno de ellos sin analizar y así conservar la posibilidad de que el individuo realice un contra-análisis en otro laboratorio. El segundo tubo debe congelarse si se prevé que su almacenamiento va a ser prolongado.

3. DETECCIÓN DEL ALCOHOL EN CADÁVERES

El alcohol etílico es el tóxico del que más frecuentemente se solicita su análisis en cadáveres. Debe solicitarse la determinación de alcohol en cadáveres, junto con la de drogas, en todos los conductores de vehículos muertos en accidentes de tráfico, así como en los fallecidos por atropello con vehículos de motor.

Hay 3 fenómenos principales que dificultan el análisis del mismo en cadáveres: la evaporación, la difusión pasiva o redistribución postmortem desde el estómago o intestino y la producción endógena por putrefacción.

El fenómeno de difusión pasiva o redistribución postmortem hará necesario que el análisis del alcohol etílico en sangre se realice en varias zonas y se mida el etanol en varios tejidos para realizar la comparación de los resultados. Además, se tendrá que tener en cuenta que el individuo pudo fallecer en la fase de absorción del alcohol o bien en la fase postabsortiva. Según numerosos autores, si se encuentran en el contenido estomacal porcentajes de concentración de alcohol etílico mayores de 0,5 g %, indica que la muerte sobrevino momentos después de la ingestión, pues todavía no se había absorbido el mismo. Y a su vez, podría considerarse el porcentaje de concentración de 0,5 g % como el límite del periodo de absorción, habiendo muerto el sujeto en una fase postabsortiva con concentraciones de etanol en el contenido del estómago menores a ésta.

Con respecto a la producción endógena del etanol, es preciso señalar que ésta existe en individuos vivos con una producción de 1-2 g al día por parte de los microorganismos que parasitan al hombre, pudiendo llegar a suponer una concentración de 0,1 g/l de sangre en un sujeto tipo. Este parámetro es muy importante para los casos de autopsia donde se investigue el alcohol etílico y haya habido un espacio de tiempo relevante entre la muerte y la extracción de

muestras. Si en el momento de analizar el alcohol en sangre se encuentran ampliamente instaurados los fenómenos de putrefacción, la producción de etanol endógena puede ser aún más elevada. Para descartar que el alcohol medido en sangre sea de producción endógena, será necesario comparar los niveles detectados con los de humor vítreo y orina.

La muestra de sangre venosa o procedente de cavidades cardíacas se acondicionará del modo antes descrito para análisis en vivos. La toma de muestra de sangre suele realizarse en la vena femoral debido a su fácil acceso, a que no se encuentra tan coagulada como en otras zonas del sistema circulatorio y a que no sufre excesiva contaminación tras la muerte por la difusión del etanol desde cavidades o tejidos anexos (estómago, intestino delgado...).

Además de la sangre, o en su lugar, puede analizarse el humor vítreo. El humor vítreo es ideal por su aislamiento frente a los microorganismos y por la buena conservación de la concentración de etanol máxima alcanzada. Además, es bien conocida la correlación existente en las concentraciones de etanol humor vítreo y sangre venosa, que es de 1,19/1, una vez finalizada la absorción y distribución. De esta forma, aplicando este ratio, puede extrapolarse la concentración existente en la sangre venosa en el momento de la muerte, siempre que nos encontráramos en el periodo meseta o postabsortivo de la curva de alcoholemia.

Es también habitual la toma de muestra de orina del cadáver por su fácil acceso, por el aislamiento de la producción endógena bacteriana y porque sirve para realizar una cronología de la intoxicación, de forma que niveles elevados de alcohol en sangre y bajos en orina indican que la muerte aconteció antes de la difusión completa del etanol y del comienzo de su eliminación.

En casos de suicidio accidental por etanol se toman muestras de la vena femoral, humor vítreo, orina y cerebro. Esta última muestra se añade para valorar la concentración máxima a la que llegó el individuo y que le ocasionó la muerte, calculándola por medio de correlaciones establecidas (la ratio cerebro/sangre venosa es de 0,85).

Diagnóstico de consumo crónico de alcohol en cadáveres

El consumo crónico y excesivo de alcohol etílico aumenta el riesgo de muerte súbita y se relaciona con numerosos mecanismos de muerte violenta. Existen estudios que demuestran que resulta negativo el análisis de etanol en el momento de la muerte en aproximadamente la mitad de individuos con consumo crónico patológico de etanol.

En las autopsias, el diagnóstico de consumo excesivo de etanol crónico se realiza por hallazgos morfológicos de deterioro hepático o bien por datos de la historia clínica o de antecedentes personales judiciales. Sin embargo, bibliografía reciente apunta que los cambios morfológicos en los órganos del cadáver no son patognomónicos y que basarse sólo en información documental puede resultar incompleto. Por ello existe una creciente sospecha de que las muertes

relacionadas con el consumo crónico de etanol están siendo infrarregistradas en las estadísticas oficiales.

Existen varios marcadores biológicos que pueden orientar de forma bastante específica en un cadáver al diagnóstico de consumo crónico patológico de alcohol etílico. Son la elevación de los niveles de transferrina deficiente en carbohidratos (CDT) y del ácido etil-glucurónico, ya mencionado anteriormente como marcador también útil para el diagnóstico de ingesta reciente de etanol.

ASPECTOS MÉDICO-LEGALES DE INTOXICACIONES POR ALCOHOL ETÍLICO

1. INTOXICACIONES POR ALCOHOL ETÍLICO EN SITUACIONES DE INTERÉS MÉDICO-LEGAL

1.1 Intoxicaciones etílicas acontecidas en la conducción de vehículos de motor

El consumo de bebidas alcohólicas tiene una implicación importante en los accidentes de tráfico. Según el *Informe 2004* del OED, en una muestra amplia de conductores fallecidos en accidentes de tráfico la prevalencia de alcoholemias positivas (iguales o superiores a 0,3 g/l) pasó de 42,7% en 2001 a 34,7% en 2003. La Dirección General de Tráfico en los controles de alcoholemia encuentra valores positivos entre el 1-2% de los que se someten a la prueba del alcoholímetro. Además se considera que es responsable directo de más del 50% de los accidentes de tráfico y del 40% de los mortales. El etanol u otras drogas están presentes en el 38% de los siniestros, según datos de la Dirección General de Tráfico. En el año 2004, el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses registró que entre los fallecidos en accidentes de tráfico en España analizados por su laboratorio (1.191 casos), un 29,8% de ellos tuvieron una alcoholemia positiva mayor o igual a 0,5 g/l y un 7,6% menor de 0,5 g/l.

En su último informe (2009), el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses señala que el 40% de los fallecidos durante 2008 analizados por su laboratorio (975 casos) dieron positivo para alcohol, drogas y/o psicofármacos. De este grupo, el 78% había ingerido alcohol igual o por encima de 0,3 g/l.

El alcohol etílico tiene un efecto multiplicador en la frecuencia de los accidentes de tráfico de, según los expertos, al menos 3,8 veces consumiendo alcohol solamente y de 4,8 veces al combinar el alcohol con el cannabis. Como se ha visto anteriormente al estudiar las dosis y efectos tóxicos del alcohol etílico, a concentraciones en sangre de 0,3-0,5 g/l disminuye en el conductor la capacidad de atención y aumenta el tiempo de reacción visual y auditiva. Se ha comprobado que a concentraciones de 0,5-0,7 g/l ya aparece una pérdida del 15% de la visión de lejos y aumenta el tiempo de reacción, incrementándose el

tiempo que tarda el conductor en pisar el freno o girar el volante para evitar un obstáculo o un peatón.

Por la grave implicación del etanol en los accidentes de tráfico, la determinación de alcohol etílico en aire expirado se realiza en tres situaciones en nuestro país: conductores implicados en accidentes de circulación, conductores que han cometido alguna infracción y en controles de tipo preventivo. La normativa principal que regula los niveles de alcohol y el procedimiento de muestreo del mismo, así como las sanciones administrativas y penales a los conductores de vehículos a motor es la incluida a continuación:

1. Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo, por el que se aprueba el Texto Articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial.

Artículo 12. Bebidas alcohólicas, sustancias estupefacientes y similares.

1. No podrá circular por las vías objeto de esta Ley, el conductor de vehículos o bicicletas con tasas superiores a las que reglamentariamente se establezcan de bebidas alcohólicas, estupefacientes, psicotrópicos, estimulantes y otras sustancias análogas.
2. Todos los conductores de vehículos y bicicletas quedan obligados a someterse a las pruebas que se establezcan para la detección de las posibles intoxicaciones por alcohol. Igualmente quedan obligados los demás usuarios de la vía cuando se hallen implicados en algún accidente de circulación.

Igualmente quedan obligados los demás usuarios de la vía cuando se hallen implicados en algún accidente de circulación.

Dichas pruebas que se establecerán reglamentariamente y consistirán normalmente en la verificación del aire expirado mediante alcoholímetros autorizados, se practicarán por los agentes encargados de la vigilancia del tráfico.

A petición del interesado o por orden de la Autoridad judicial se podrán repetir las pruebas a efectos de contraste, pudiendo consistir en análisis de sangre, orina u otros análogos.

El personal sanitario vendrá obligado, en todo caso, a dar cuenta del resultado de las pruebas que realicen a la Autoridad judicial, a los órganos periféricos de la Jefatura Central de Tráfico y, cuando proceda, a las autoridades municipales competentes.

2. Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre Tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.

CAPÍTULO IV. NORMAS SOBRE BEBIDAS ALCOHÓLICAS.

Artículo 20. Tasas de alcohol en sangre y aire espirado.

No podrán circular por las vías objeto de la legislación sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial los conductores de vehículos ni los conduc-

tores de bicicletas con una tasa de alcohol en sangre superior a 0,5 gramos por litro, o de alcohol en aire espirado superior a 0,25 miligramos por litro.

Cuando se trate de vehículos destinados al transporte de mercancías con una masa máxima autorizada superior a 3.500 kilogramos, vehículos destinados al transporte de viajeros de más de nueve plazas, o de servicio público, al transporte escolar y de menores, al de mercancías peligrosas o de servicio de urgencia o transportes especiales, los conductores no podrán hacerlo con una tasa de alcohol en sangre superior a 0,3 gramos por litro, o de alcohol en aire espirado superior a 0,15 miligramos por litro.

Los conductores de cualquier vehículo no podrán superar la tasa de alcohol en sangre de 0,3 gramos por litro ni de alcohol en aire espirado de 0,15 miligramos por litro durante los dos años siguientes a la obtención del permiso o licencia que les habilita para conducir.

A estos efectos, sólo se computará la antigüedad de la licencia de conducción cuando se trate de la conducción de vehículos para los que sea suficiente dicha licencia.

Artículo 21. Investigación de la alcoholemia. Personas obligadas.

Todos los conductores de vehículos y de bicicletas quedan obligados a someterse a las pruebas que se establezcan para la detección de las posibles intoxicaciones por alcohol. Igualmente quedan obligados los demás usuarios de la vía cuando se hallen implicados en algún accidente de circulación (artículo 12.2, párrafo primero, del texto articulado).

Los agentes de la autoridad encargados de la vigilancia del tráfico podrán someter a dichas pruebas:

- a. A cualquier usuario de la vía o conductor de vehículo implicado directamente como posible responsable en un accidente de circulación.
- b. A quienes conduzcan cualquier vehículo con síntomas evidentes, manifestaciones que denoten o hechos que permitan razonablemente presumir que lo hacen bajo la influencia de bebidas alcohólicas.
- c. A los conductores que sean denunciados por la comisión de alguna de las infracciones a las normas contenidas en este Reglamento.
- d. A los que, con ocasión de conducir un vehículo, sean requeridos al efecto por la autoridad o sus agentes dentro de los programas de controles preventivos de alcoholemia ordenados por dicha autoridad.

Artículo 22. Pruebas de detección alcohólica mediante el aire espirado.

1. Las pruebas para detectar la posible intoxicación por alcohol se practicarán por los agentes encargados de la vigilancia de tráfico y consistirán, normalmente, en la verificación del aire espirado mediante etilómetros que, oficialmente autorizados, determinarán de forma cuantitativa el grado de impregnación alcohólica de los interesados.

A petición del interesado o por orden de la autoridad judicial, se podrán repetir las pruebas a efectos de contraste, que podrán consistir en análisis de sangre, orina u otros análogos (artículo 12.2, párrafo segundo, in fine, del texto articulado).

2. Cuando las personas obligadas sufrieran lesiones, dolencias o enfermedades cuya gravedad impida la práctica de las pruebas, el personal facultativo del centro médico al que fuesen evacuados decidirá las que se hayan de realizar.

Artículo 23. Práctica de las pruebas.

1. Si el resultado de la prueba practicada diera un grado de impregnación alcohólica superior a 0,5 gramos de alcohol por litro de sangre o a 0,25 miligramos de alcohol por litro de aire espirado, o al previsto para determinados conductores en el artículo 20 o, aun sin alcanzar estos límites, presentara la persona examinada síntomas evidentes de encontrarse bajo la influencia de bebidas alcohólicas, el agente someterá al interesado, para una mayor garantía y a efecto de contraste, a la práctica de una segunda prueba de detección alcohólica por el aire espirado, mediante un procedimiento similar al que sirvió para efectuar la primera prueba, de lo que habrá de informarle previamente.
2. De la misma forma advertirá a la persona sometida a examen del derecho que tiene a controlar, por sí o por cualquiera de sus acompañantes o testigos presentes, que entre la realización de la primera y de la segunda prueba medie un tiempo mínimo de 10 minutos.
3. Igualmente, le informará del derecho que tiene a formular cuantas alegaciones u observaciones tenga por conveniente, por sí o por medio de su acompañante o defensor, si lo tuviese, las cuales se consignarán por diligencia, y a contrastar los resultados obtenidos mediante análisis de sangre, orina u otros análogos, que el personal facultativo del centro médico al que sea trasladado estime más adecuados.
4. En el caso de que el interesado decida la realización de dichos análisis, el agente de la autoridad adoptará las medidas más adecuadas para su traslado al centro sanitario más próximo al lugar de los hechos. Si el personal facultativo del centro apreciara que las pruebas solicitadas por el interesado son las adecuadas, adoptará las medidas tendentes a cumplir lo dispuesto en el artículo 26.

El importe de dichos análisis deberá ser previamente depositado por el interesado y con él se atenderá al pago cuando el resultado de la prueba de contraste sea positivo; será a cargo de los órganos periféricos del organismo autónomo Jefatura Central de Tráfico o de las autoridades municipales o autonómicas competentes cuando sea negativo, devolviéndose el depósito en este último caso.

Artículo 24. Diligencias del agente de la autoridad.

Si el resultado de la segunda prueba practicada por el agente, o el de los análisis efectuados a instancia del interesado, fuera positivo, o cuando el que condujese un vehículo de motor presentara síntomas evidentes de hacerlo bajo la influencia de bebidas alcohólicas o apareciera presuntamente implicado en una conducta delictiva, el agente de la autoridad, además de ajustarse, en todo caso, a lo establecido en la Ley de Enjuiciamiento Criminal, deberá:

- a. Describir con precisión, en el boletín de denuncia o en el atestado de las diligencias que practique, el procedimiento seguido para efectuar la prueba o pruebas de detección alcohólica, haciendo constar los

datos necesarios para la identificación del instrumento o instrumentos de detección empleados, cuyas características genéricas también detallará.

- b. Consignar las advertencias hechas al interesado, especialmente la del derecho que le asiste a contrastar los resultados obtenidos en las pruebas de detección alcohólica por el aire espirado mediante análisis adecuados, y acreditar en las diligencias las pruebas o análisis practicados en el centro sanitario al que fue trasladado el interesado.
- c. Conducir al sometido a examen, o al que se negase a someterse a las pruebas de detección alcohólica, en los supuestos en que los hechos revistan caracteres delictivos, de conformidad con lo dispuesto en la Ley de Enjuiciamiento Criminal, al juzgado correspondiente a los efectos que procedan.

Artículo 25. Inmovilización del vehículo.

1. En el supuesto de que el resultado de las pruebas y de los análisis, en su caso, fuera positivo, el agente podrá proceder, además, a la inmediata inmovilización del vehículo, mediante su precinto u otro procedimiento efectivo que impida su circulación, a no ser que pueda hacerse cargo de su conducción otra persona debidamente habilitada, y proveerá cuanto fuese necesario en orden a la seguridad de la circulación, la de las personas transportadas en general, especialmente si se trata de niños, ancianos, enfermos o inválidos, la del propio vehículo y la de su carga.
2. También podrá inmovilizarse el vehículo en los casos de negativa a efectuar las pruebas de detección alcohólica (artículo 70, in fine, del texto articulado). [...]

Artículo 26. Obligaciones del personal sanitario.

1. El personal sanitario vendrá obligado, en todo caso, a proceder a la obtención de muestras y remitirlas al laboratorio correspondiente, y a dar cuenta, del resultado de las pruebas que se realicen, a la autoridad judicial, a los órganos periféricos del organismo autónomo Jefatura Central de Tráfico y, cuando proceda, a las autoridades municipales competentes.

Entre los datos que comunique el personal sanitario a las mencionadas autoridades u órganos figurarán, en su caso, el sistema empleado en la investigación de la alcoholemia, la hora exacta en que se tomó la muestra, el método utilizado para su conservación y el porcentaje de alcohol en sangre que presente el individuo examinado.

2. Las infracciones a las distintas normas de este capítulo, relativas a la conducción habiendo ingerido bebidas alcohólicas o a la obligación de someterse a las pruebas de detección alcohólica, tendrán la consideración de infracciones muy graves, conforme se prevé en el artículo 65.5.a y b del texto articulado.
3. Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal. Redactada según la Ley Orgánica 15/2007, de 30 de noviembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal en materia de seguridad vial.

CAPÍTULO IV. DE LOS DELITOS CONTRA LA SEGURIDAD VIAL.**Artículo 379.**

1. El que condujere un vehículo de motor o un ciclomotor a velocidad superior en sesenta kilómetros por hora en vía urbana o en ochenta kilómetros por hora en vía interurbana a la permitida reglamentariamente, será castigado con la pena de prisión de tres a seis meses o a la de multa de seis a doce meses y trabajos en beneficio de la comunidad de treinta y uno a noventa días, y, en cualquier caso, a la de privación del derecho a conducir vehículos a motor y ciclomotores por tiempo superior a uno y hasta cuatro años.
2. Con las mismas penas será castigado el que condujere un vehículo de motor o ciclomotor bajo la influencia de drogas tóxicas, estupefacientes, sustancias psicotrópicas o de bebidas alcohólicas. En todo caso será condenado con dichas penas el que condujere con una tasa de alcohol en aire espirado superior a 0,60 miligramos por litro o con una tasa de alcohol en sangre superior a 1,2 gramos por litro.

Artículo 380.

1. El que condujere un vehículo a motor o un ciclomotor con temeridad manifiesta y pusiere en concreto peligro la vida o la integridad de las personas será castigado con las penas de prisión de seis meses a dos años y privación del derecho a conducir vehículos a motor y ciclomotores por tiempo superior a uno y hasta seis años.
2. A los efectos del presente precepto se reputará manifiestamente temeraria la conducción en la que concurrieren las circunstancias previstas en el apartado primero y en el inciso segundo del apartado segundo del artículo anterior.

Artículo 383.

El conductor que, requerido por un agente de la autoridad, se negare a someterse a las pruebas legalmente establecidas para la comprobación de las tasas de alcoholemia y la presencia de las drogas tóxicas, estupefacientes y sustancias psicotrópicas a que se refieren los artículos anteriores, será castigado con la penas de prisión de seis meses a un año y privación del derecho a conducir vehículos a motor y ciclomotores por tiempo superior a uno y hasta cuatro años.

Es preciso señalar en relación a la alcoholemia y los delitos de tráfico que las sentencias emitidas por la autoridad judicial pueden ser variables. Con la reciente modificación de la Ley Orgánica 15/2007, de 30 de noviembre, con niveles mayores de 0,6 mg/l de aire espirado o 1,2 g/l de sangre, basta con acreditar este nivel de alcoholemia para incurrir en el delito tipificado en el artículo 379 del Código Penal.

No obstante, en niveles menores se aplica lo señalado en el artículo 379 del Código Penal, por el que se castiga al «que condujere un vehículo de motor o ciclomotor bajo la influencia de drogas tóxicas, estupefacientes, sustancias psicotrópicas o de bebidas alcohólicas». En este caso, la alcoholemia no es el único medio probatorio. Habrá que acreditar la existencia de cifras positivas de alcoholemia y, además, la presencia de alteraciones psicofísicas en el momento

del análisis. Estas alteraciones deben ser reseñadas por los agentes de la autoridad en su atestado y, posteriormente, ser ratificadas en el juicio oral, ya que sin su testimonio ante la autoridad judicial el análisis del test de aire espirado no tiene validez legal. Por todo ello es frecuente que se recurran las resoluciones judiciales ante otros tribunales que evalúen todas las pruebas aportadas y se puede llegar a cambiar las sentencias emitidas en primera instancia. Algunos factores que siempre se consideran para evaluar la validez de la detección de alcohol son la información que se ha prestado a los sujetos afectados, la adecuada calibración y validación de los aparatos de detección de alcohol en aire espirado empleados y el procedimiento por el que se le ha extraído la sangre y se ha analizado en ella el etanol, en el caso de habersele realizado.

1.2 Intoxicaciones étlicas que precisan de un internamiento involuntario

En el caso de que un intoxicado grave no quiera permanecer en el centro sanitario es preciso establecer el protocolo de un internamiento involuntario en el mismo si existe riesgo para la salud y vida de su persona o de otros. El internamiento no voluntario o forzoso afecta a aquellas personas que sufren un trastorno psíquico y que no están en condiciones de decidir por sí mismas. El internamiento por razón de trastorno psíquico de una persona que no esté en condiciones de decidirlo por sí mismo, aunque esté sometida a la patria potestad o a la tutela, requerirá autorización judicial.

Hay dos tipos de vías del internamiento involuntario: la ordinaria, en cuyo caso el juez tramitará el expediente previamente a la autorización de internamiento, y la urgente, donde primero se acuerda el internamiento por decisión médica, y posteriormente, es ratificado por el juez. En los procedimientos ordinarios, la solicitud de internamiento puede ser presentada por cualquier interesado (familiares, vecinos o servicios sociales). Con los informes médicos y documentos que acrediten la existencia del trastorno psíquico, el juez debe ordenar el reconocimiento médico del afectado y proceder por sí mismo al examen de la persona cuyo internamiento se ha solicitado.

La resolución, acordando el internamiento de una persona por razón de trastorno psíquico, es recurrible ante la audiencia correspondiente y, por ello, debe ser notificada al afectado. Los internamientos por razón de trastorno psíquico tienen carácter temporal.

Es preciso incidir en que la intervención del juez se concreta en la autorización –no en la orden– de que la persona sea internada cuando a criterio de los facultativos exista un motivo clínico que lo justifique. Por ello en los casos de urgencia no es precisa la previa autorización judicial, bastando una indicación facultativa y la posterior comunicación al juzgado para la ratificación de la medida. La comunicación debe ser en las primeras 24 horas y preferentemente por escrito. En esas horas, los profesionales sanitarios, ayudados de los celadores y, si es preciso, cuerpos de seguridad o vigilancia, habrán podido inmovilizar al intoxicado agitado, le habrán aplicado el tratamiento de emergencia, así como las medidas indicadas siguiendo la *lex artis*.

Recibido el comunicado del médico responsable de dicho internamiento, el juez deberá examinar al paciente y en el plazo de 72 horas y ratificar o no la medida del internamiento involuntario. Como la decisión última acerca de la indicación de ingreso corresponde al médico, el juez no puede imponer el internamiento de un paciente contraindicado clínicamente. El juez sí que debe revisar la continuidad o no del ingreso.

Incluimos aquí el artículo de la Ley 1/2000, de 7 de enero, de Enjuiciamiento Civil que regula el procedimiento del internamiento involuntario:

Artículo 763. Internamiento no voluntario por razón de trastorno psíquico.

1. El internamiento, por razón de trastorno psíquico, de una persona que no esté en condiciones de decidirlo por sí, aunque esté sometida a la patria potestad o a tutela, requerirá autorización judicial, que será recabada del tribunal del lugar donde resida la persona afectada por el internamiento.

La autorización será previa a dicho internamiento, salvo que razones de urgencia hicieren necesaria la inmediata adopción de la medida. En este caso, el responsable del centro en que se hubiere producido el internamiento deberá dar cuenta de éste al tribunal competente lo antes posible y, en todo caso, dentro del plazo de veinticuatro horas, a los efectos de que se proceda a la preceptiva ratificación de dicha medida, que deberá efectuarse en el plazo máximo de setenta y dos horas desde que el internamiento llegue a conocimiento del tribunal.

En los casos de internamientos urgentes, la competencia para la ratificación de la medida corresponderá al tribunal del lugar en que radique el centro donde se haya producido el internamiento. Dicho tribunal deberá actuar, en su caso, conforme a lo dispuesto en el apartado 3 del artículo 757 de la presente Ley.

1.3 Intoxicaciones étlicas acontecidas en el lugar del trabajo

Se estima que el consumo de alcohol se halla implicado en uno de cada tres accidentes laborales, siendo responsable de numerosos siniestros evitables en el ámbito del trabajo. Existen puestos de trabajo donde el control ha de ser más exhaustivo y hay una normativa de medición periódica de los niveles de drogas de abuso y alcohol, que es acordada entre el trabajador y la empresa en el momento del contrato. Éste es el caso de todos los puestos laborales en los que se conduce vehículos a motor de forma profesional (ambulancias, chóferes, conductores de autobuses, taxistas...), se conducen trenes, aviones o barcos, o bien se emplean armas de fuego. En resumen, los sectores laborales donde un consumo de alcohol y de drogas puede resultar más problemático, y por tanto precisan de un especial control y vigilancia, son los siguientes:

- Transporte por carretera, por avión, ferroviario y marítimo.
- Trabajos con riesgo especialmente grave de caída desde altura.
- Cuerpos y fuerzas de seguridad.
- Bomberos.

- Servicios de salud.
- Industrias peligrosas (de investigación nuclear, química o biológica o de producción de sustancias peligrosas).

Varias características del trabajo han sido identificadas como factores asociados a un mayor consumo de alcohol y/o estimulantes en el lugar de trabajo. Dentro de ellos podemos destacar:

- Labores de horarios irregulares o con nocturnidad: pilotos, azafatas o miembros del personal sanitario.
- Trabajos con intensa vida social: relaciones públicas o comerciales.
- Actividades relacionadas con la ingesta alcohólica: hosteleros.
- Oficios con penosidad o mal considerados: poceros, enterradores o basureros.
- Tareas con desarraigo familiar: jueces, militares o políticos.
- Profesiones que alternan momentos tensos con periodos de inactividad: seguridad privada, policías o bomberos.

El artículo 22.1 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales señala la necesidad de consentimiento expreso del trabajador para los análisis médicos, si bien «no será preciso el consentimiento del trabajador, aunque sí el informe previo de los representantes sindicales, en los supuestos en los que la realización de los reconocimientos sea imprescindible para evaluar los efectos de las condiciones de trabajo sobre la salud de los trabajadores o para verificar si el estado de salud del trabajador puede constituir un peligro para sí mismo, para los demás trabajadores o para personas relacionadas con la empresa».

De hecho serán causa de despido procedente «la embriaguez habitual o toxicomanía si repercuten negativamente en el trabajo» (artículo 54, apartado f, del Estatuto de los Trabajadores (Real Decreto Legislativo 1/1995, de 24 de marzo). Por tanto, en el momento actual, cualquier intoxicación habitual, siempre que repercuta de forma negativa en el trabajo, será causa procedente de despido laboral. La repercusión en el trabajo, según la jurisprudencia, deberá ser grave y culpable, y la mera posesión de drogas durante el desarrollo de la jornada laboral no debe constituir causa de despido.

No obstante, el hecho de padecer alcoholismo crónico sin más no puede ser motivo de despido procedente ya que en el mismo Estatuto de los Trabajadores se señala que «tampoco podrán ser discriminados por razón de disminuciones físicas, psíquicas y sensoriales, siempre que se hallasen en condiciones de aptitud para desempeñar el trabajo o empleo de que se trate» (artículo 4).

En determinados ámbitos, como el militar, la embriaguez en acto de servicio se considera un acto penado por el Código Penal Militar (Ley Orgánica 13/1985, de 9 de diciembre):

Artículo 148.

El militar que en acto de servicio de armas o transmisiones, voluntaria o culposamente se embriagare o drogare, resultando excluida o disminuida su capacidad para prestarlo, será castigado con la pena de tres meses y un día a seis meses de prisión.

Cuando se trate de un militar que, en acto de servicio, ejerciere mando, se impondrá la pena superior en grado.

1.4 Intoxicaciones etílicas acontecidas en menores de edad e incapaces

Las intoxicaciones por alcohol etílico en menores de edad, sobre todo menores de 13 años, e incapaces pueden indicar negligencia en el cuidado de los mismos. El médico debe emitir un parte judicial en caso de sospecha de maltrato, sobre todo en los casos reincidentes o acaecidos a varios ancianos, niños o discapacitados en la misma familia, residencia, colegio, etc.

2. EL ALCOHOL ETÍLICO COMO ATENUACIÓN Y EXIMENTE DE LA PENA EN ACTOS DELICTIVOS

En nuestro Código Penal la intoxicación plena o parcial por alcohol etílico, así como el síndrome de abstinencia del mismo, pueden ser situaciones consideradas por la autoridad judicial como causa modificatoria de la responsabilidad criminal. Incluimos aquí por su relevancia ambos artículos del Código Penal (Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre):

CAPÍTULO II. DE LAS CAUSAS QUE EXIMEN DE LA RESPONSABILIDAD CRIMINAL.**Artículo 20.**

Están exentos de responsabilidad criminal:

[...]

2. El que al tiempo de cometer la infracción penal se halle en estado de intoxicación plena por el consumo de bebidas alcohólicas, drogas tóxicas, estupefacientes, sustancias psicotrópicas u otras que produzcan efectos análogos, siempre que no haya sido buscado con el propósito de cometerla o no se hubiese previsto o debido prever su comisión, o se halle bajo la influencia de un síndrome de abstinencia, a causa de su dependencia de tales sustancias, que le impida comprender la ilicitud del hecho o actuar conforme a esa comprensión.

CAPÍTULO III. DE LAS CIRCUNSTANCIAS QUE ATENUAN LA RESPONSABILIDAD CRIMINAL.**Artículo 21.**

Son circunstancias atenuantes:

1. Las causas expresadas en el Capítulo anterior, cuando no concurrieren todos los requisitos necesarios para eximir de responsabilidad en sus respectivos casos.
2. La de actuar el culpable a causa de su grave adicción a las sustancias mencionadas en el número 2 del artículo anterior. [...]

En el caso de la eximente, el médico forense y otros peritos médicos en su evaluación pericial del sujeto culpable del hecho delictivo deberán ayudar a esclarecer la situación psicológica del individuo (niveles intelectivos y volitivos) «al tiempo de cometer la infracción penal» y acreditar si la situación de intoxicación plena o síndrome de abstinencia «a causa de su dependencia de tales sustancias» es tal que le impidió «comprender la ilicitud del hecho o actuar conforme a esa comprensión». Es decir, será necesario:

1. Acreditar la existencia en el momento de los hechos de la intoxicación plena por alcohol etílico.
2. O bien acreditar la existencia de un síndrome de abstinencia, debido a la dependencia crónica al alcohol que también debe conocerse.
3. Que en el caso de intoxicación plena, ésta no haya sido buscada con el propósito de cometer la infracción penal o no se hubiese previsto o debido prever su comisión.
4. Que la situación de intoxicación plena o síndrome de abstinencia sea tal que le haya impedido comprender que iba a cometer una infracción penal o, conociendo que lo era, se ha visto impedido para actuar adecuadamente por el efecto del alcohol.

Se considerarán atenuantes las situaciones en las que no sea posible acreditar estos puntos (intoxicación no plena, por ejemplo) o bien sea posible acreditar que ha actuado «a causa de su grave adicción» al alcohol etílico. Para evaluar el grado de adicción es de gran ayuda el análisis de alcohol en aire espirado y sangre practicado en un tiempo próximo a los hechos, así como la medición de los otros marcadores de ingesta reciente y habitual señalados anteriormente.

En el caso de la exención incompleta o atenuante, la autoridad judicial aplicará, según el artículo 68 del Código Penal, la pena inferior en uno o dos grados y se puede acordar la instauración obligatoria de un tratamiento de deshabituación del drogodependiente (artículo 104 del Código Penal) que debe cumplirse antes de la pena y tendrá carácter sustitutorio de ésta.

Es preciso señalar que actualmente la mayoría de los autores consideran que los consumidores de drogas de abuso, y entre ellas el alcohol etílico, pueden ser imputables de sus delitos salvo cuando haya circunstancias en las que el nivel de conciencia o voluntad esté gravemente afectado.

3. EL ALCOHOL ETÍLICO EN SU DEPENDENCIA CRÓNICA COMO ELEMENTO PARA LA INCAPACITACIÓN CIVIL

El artículo 200 del Código Civil señala: «son causas de incapacitación las enfermedades o deficiencias persistentes de carácter físico o psíquico que impidan a la persona gobernarse por sí misma.» El consumo crónico de alcohol etílico puede ser causa de incapacidad cuando la adicción sea grave y con carácter habitual.

Esta situación debe valorarse en el tiempo para constatar el carácter crónico, realizando un estudio completo de la adicción del individuo, del control de los impulsos del afectado o de la presencia de alteraciones psiquiátricas derivadas o presentes de forma simultánea.

De forma similar que en el procedimiento penal, el perito médico tratará de establecer la existencia de dependencia, su tipo (física o psíquica) y gravedad, el tiempo que hace que el sujeto está bajo la influencia del alcohol, los daños orgánicos que hayan podido instaurarse y el grado de deterioro psíquico e intelectual producido. Para estas valoraciones son de gran interés los citados marcadores de consumo crónico de alcohol etílico. Es también de gran utilidad para la autoridad judicial el poder establecer un pronóstico futuro.

El procedimiento de incapacitación es complejo y está detallado en el artículo 756 y siguientes de la Ley 1/2000, de 7 de enero, de Enjuiciamiento Civil. La incapacidad será total cuando se demuestre una enfermedad que impida a la persona afectada gobernar su persona y administrar sus bienes, sometiendo en estos casos al incapaz a tutela y privándosele por completo de la capacidad de obrar.

Un sujeto que sea incapacitado totalmente ha de ser sometido siempre a la tutela. Ésta tiene como objetivo, en general, el amparo de la persona y bienes de los menores que no están sujetos a la patria potestad de sus padres o que se hallen en situación de desamparo, y de los incapacitados civilmente. La tutela se constituye judicialmente.

En los casos de incapacidad civil parcial se emplea la figura de la curatela. La sujeción a curatela se suele limitar para realizar determinados actos, como son los actos principales de gestión patrimonial (enajenación de inmuebles, disposición de muebles de especial valor...). En el caso del alcoholismo y la drogodependencia es vital la protección patrimonial, sobre todo si existen familiares que pueden resultar afectados. La curatela tiene por objeto completar la capacidad de las personas que no son capaces por completo, por lo que será necesaria la intervención del denominado curador en aquellos actos que los emancipados no puedan realizar por sí mismos. La curatela también ha de constituirse por resolución judicial.

4

TOXICOLOGÍA FORENSE II. INTOXICACIONES POR DROGAS DE ABUSO

Victoria Uroz Martínez

*Profesora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria. Sección Toxicología
Forense. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid*

Matilde Zaballo García

*Médico especialista en Anestesia y Reanimación.
Hospital Gregorio Marañón de Madrid*



Figura 1. Botamen Merck de principios del siglo XX. Museo de Antropología Médica y Forense, Paleopatología y Criminalística Profesor Reverte Coma

DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS DROGAS DE ABUSO

De forma oficial, el término droga se define como toda sustancia, terapéutica o no, que introducida en el organismo por diferentes mecanismos de administración va a actuar sobre el sistema nervioso central (SNC) produciendo una alteración de tipo físico, intelectual, experimentación de nuevas sensaciones y/o modificación del estado psíquico del sujeto. Las sustancias psicotrópicas son, por su parte, compuestos de origen natural o sintético que provocan alteraciones físicas y psíquicas que causan dependencia en el organismo y síndrome de abstinencia, que es el deseo imperioso y patológico de consumo de un determinado compuesto. De aquí en adelante, al citar el término droga, nos referiremos a droga de abuso.

En este capítulo se revisarán los aspectos fundamentales de las drogas de abuso más frecuentemente empleadas en nuestro país, sin considerar el alcohol etílico, al que se dedica un capítulo entero en el presente manual. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en relación con su actividad sobre el SNC, se pueden distinguir diversos tipos de drogas, tal y como detallamos en la Tabla 1:

PSICOESTIMULANTES	Cocaína Anfetaminas Éxtasis
PSICODEPRESIVAS	Opioides
PSICODISLÉPTICAS O PERTURBADORAS	Derivados del ácido lisérgico (LSD) Mescalina Cannabis

Tabla 1. Clasificación de las drogas

- a) Drogas psicoestimulantes: son sustancias productoras de euforia, bienestar y sensación intensa de alegría, suelen generar dependencia psíquica.
- b) Drogas psicodepresivas: son sustancias sedantes, ansiolíticas, analgésicas e hipnóticas capaces de provocar dependencia tanto psíquica como física, siendo éste el caso de los compuestos opioides.
- c) Drogas psicodislépticas o perturbadoras: son sustancias alucinógenas capaces de alterar sensorialmente la realidad. De forma indistinta, pueden ser depresores o estimulantes del SNC. En general, no son productoras de dependencia física o psíquica. El cannabis podría ser incluido aquí, si bien éste es también psicodepresivo y produce dependencia psíquica.

ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS GENERALES DEL CONSUMO DE DROGAS DE ABUSO EN ESPAÑA

El consumo de drogas de abuso es un problema mundial, y ni las tendencias en el consumo de drogas ni los productores y traficantes de estas sustancias respetan fronteras nacionales o geográficas. En general, los índices de consumo de drogas siguen creciendo, aunque según el *Informe del Observatorio Europeo de las Drogas y Toxicomanías* publicado en el año 2007 los datos actuales sugieren una cierta estabilización en la mayor parte de las áreas.

Las drogas de abuso de consumo más habitual en España son, según el *Informe del Observatorio Español sobre Drogas* (2007), el cannabis, la cocaína, el éxtasis, las anfetaminas y los opiáceos. El informe señala como algo novedoso que han descendido de forma importante los problemas más graves relacionados con el consumo de drogas ilegales, principalmente muertes por intoxicación aguda y nuevas infecciones por VIH. Sin embargo, el informe apunta que las nuevas formas de consumo (sobre todo el consumo de psicoestimulantes en un contexto recreativo) generan problemas nuevos,

principalmente neuropsiquiátricos, cardiopulmonares o sociales (familiares, escolares y laborales).

En cuanto a la edad de inicio en el consumo de drogas se observan diferencias importantes dependiendo de la sustancia de la que se trate. La sustancia ilegal que se consume más tempranamente es el cannabis, aquellas cuyo consumo se inicia más tardíamente son los hipnosedantes sin receta, y el consumo del resto de las drogas se inicia por término medio entre los 18-22 años.

Los consumidores más comunes son los hombres en comparación con las mujeres y en mayor proporción en las ciudades en relación al ámbito rural.

Drogas de abuso y criminalidad

El impacto social que representa el consumo de drogas de abuso se deriva entre otros por su implicación en accidentes, comportamientos violentos, riesgo de abuso sexual, conducción peligrosa, sobredosis, toxicidad y muerte. Además las consecuencias derivadas de su consumo inciden de forma importante en los recursos sanitarios y representan una fuente significativa de absentismo laboral.

Por otro lado algunos estudios han observado que existe una asociación entre el abuso de sustancias y la presencia de una personalidad antisocial y un comportamiento criminal.

Los adictos a drogas de abuso se ven implicados en situaciones motivadas por la necesidad de obtención de la droga. El valor material del producto y su reiterado consumo llevan al sujeto a cometer actos delictivos como robos, estafas y falsificaciones. En segundo lugar, las drogas producen unos efectos en el sujeto, con frecuencia reacciones de agresividad, ansiedad y estados confusionales. Durante estos episodios el adicto puede cometer diversos delitos: lesiones, atentados sexuales, amenazas e insultos, desobediencia a la autoridad, etc.

Desde un enfoque clínico y psicopatológico se ha valorado la existencia de una personalidad previa del toxicómano como fuente del delito. En el medio judicial, los médicos forenses constatan con frecuencia rasgos peculiares en la personalidad del adicto, lo que, unido a la subcultura y la marginación, supone un elemento delictivo en sí mismo. No obstante, esto no puede generalizarse en todos los casos y siempre que sea posible es preciso un estudio pormenorizado de los rasgos de personalidad previos a la adicción.

Los expertos señalan una asociación entre determinadas drogas y tipos de delitos. En concreto, el alcohol etílico se ha asociado a delitos de tráfico, contra la libertad sexual y de violencia doméstica, mientras que los opiáceos y sus derivados se relacionan más frecuentemente con delitos contra la propiedad (hurto con preferencia al robo). El cannabis, la cocaína y los alucinógenos se asocian con delitos variados que se relacionan con actividades violentas, intimidación, amenazas, agresiones físicas, contra la propiedad privada, tráfico y seguridad vial.

ASPECTOS DE INTERÉS CRIMINAL DE LAS DROGAS DE ABUSO DE EMPLEO MÁS FRECUENTE EN ESPAÑA

1. DROGAS DE ABUSO PSICOESTIMULANTES

1.1 Cocaína

121

El consumo de cocaína ha aumentado considerablemente, y se estima que 4,5 millones de europeos consumieron cocaína en el año 2005, lo que supone un incremento en relación a años previos. Esta situación al alza es un motivo de preocupación importante dentro de los organismos responsables de la política antidroga tanto en Europa como en otros países del mundo. Es la segunda droga ilegal más consumida en Europa tras el cannabis y por delante del éxtasis y las anfetaminas. Además el consumo de cocaína entre los jóvenes es relativamente elevado (4-6% en adolescentes de entre 15-16 años).

Según los datos del último *Informe del Observatorio Europeo de las Drogas y Toxicomanías*, hasta ahora, el aumento en los niveles de consumo de cocaína sólo ha repercutido ligeramente en los indicadores de salud, pero esto podría estar cambiando. Cada año se informa de aproximadamente 400 muertes relacionadas con la cocaína en Europa, pero se sospecha que buena parte de las muertes ocasionadas por problemas cardiovasculares en las que la cocaína ha sido un factor agravante no se detectan.

La cocaína es la droga de mayor tráfico en el mundo después del cannabis. Como sucede con otras drogas ilegales, la prevalencia del consumo de cocaína se concentra entre los adultos jóvenes (entre 15-34 años), y además su consumo no se limita a ciertos grupos sociales. El consumo de esta droga por jóvenes adultos socialmente integrados en entornos recreativos puede alcanzar niveles muy elevados y superiores a los indicados en las encuestas de población general.

Otros aspectos relevantes en el consumo de cocaína es su implicación en las muertes violentas, accidentales y por suicidio, detectándose en algunos casos en el 25% de las autopsias de adultos entre 15-44 años que han muerto por un traumatismo. La alteración de la capacidad de razonamiento durante la intoxicación aumenta el riesgo de un comportamiento violento, ofensivo y actuación antisocial.

El *crack* es la base libre de la cocaína y se toma de forma inhalada usando unas pipas especiales que toleran temperaturas muy elevadas que son necesarias para volatilizar la cocaína pura. En general, el consumo de *crack* en nuestro medio sigue siendo relativamente poco frecuente y se concentra en las subpoblaciones marginadas y excluidas de algunas ciudades.

La cocaína (clorhidrato de cocaína) se obtiene de los alcaloides de la hoja de *Erythroxylum coca*, árbol común en Perú y ciertas zonas de Sudamérica. Como sustancia medicinal actualmente se limita su empleo como anestésico local especialmente en algunas cirugías nasales, de garganta y de oído.

Suele administrarse esnifada en polvo mediante la aspiración nasal o « tiro nasal ». Estas « líneas » contienen entre 15-25 mg de cocaína con mayor o menor grado de pureza. El polvo de la cocaína base es un compuesto blanco, cristalino y amargo. Los efectos de la inhalación de los vapores del polvo de cocaína quemada o *crack* son mucho más rápidos y peligrosos. En el mercado, la pureza máxima de la cocaína base no suele ser superior al 20-40%. Normalmente, la cocaína suele adulterarse mediante la adición de ciertos compuestos inactivos, como el talco, el manitol o la lactosa; en ocasiones se adicionan sustancias activas, como anfetaminas o anestésicos locales, originando unos complejos muy peligrosos y capaces de provocar graves intoxicaciones en el organismo. Es frecuente además consumirla con otras sustancias como por ejemplo alcohol, tabaco, cannabis u otros estimulantes distintos, y este tipo de policonsumo puede conllevar elevados riesgos para la salud.

Síntomas asociados a la intoxicación por cocaína

Su alta toxicidad se debe al bloqueo de la recaptación de catecolaminas en los sistemas nerviosos tanto central como periférico, siendo su acción más importante la estimulación adrenérgica, provocando sensación de euforia y reducción de la fatiga.

En el plano psicológico, la administración de cocaína puede provocar ataques de pánico, agitación disfórica (mal humor o humor displacentero) y psicosis tóxica, como manifestaciones de esquizofrenia paranoide, además de dependencia psíquica.

Los sujetos con una intoxicación moderada están alerta, y pueden presentar sudoración intensa, aumento de las pulsaciones, midriasis (dilatación de la pupila) y aumento de la presión arterial y de la frecuencia cardiaca. Si la intoxicación es más intensa, el paciente puede estar agitado, combativo e hipertérmico. Pueden observarse signos de afectación más graves como una urgencia hipertensiva. En ocasiones presentan un cuadro de dolor intenso, alteraciones en la circulación, delirio y convulsiones. En la Tabla 2 se describen los síntomas más característicos de la intoxicación por cocaína.

Hipertensión
Taquicardia
Dilatación pupilar
Sudoración abundante
Hipertermia
Excitación del sistema nervioso central

Tabla 2. *Resumen de los efectos clínicos de la intoxicación por cocaína*

El cuadro clínico en los casos de intoxicación puede modificarse dependiendo de la dosis, la vía de administración y el tiempo transcurrido desde el consumo y el momento en el que observamos al sujeto. En la Tabla 3 se reflejan algunos datos en relación a la forma de administración y cronología de los síntomas.

VÍA DE ADMINISTRACIÓN	PREPARADO	INICIO DE LA ACCIÓN	EFFECTO MÁXIMO	DURACIÓN
Inhalación	Crack	8 segundos	2-5 minutos	10-20 minutos
Intranasal	HCl Cocaína	2-5 minutos	5-10 minutos	30 minutos
Intravenosa	HCl Cocaína	Segundos	10-20 minutos	

HCl: hidrocloreuro de cocaína

Tabla 3. Vías de administración de la cocaína

Otros factores que pueden alterar los síntomas del paciente son las sustancias aditivas, contaminantes y otras drogas tomadas a la vez. Los pacientes se administran heroína y cocaína *speedball* (pauta que está en aumento según los últimos informes del Observatorio Europeo de las Drogas y Toxicomanías) de forma conjunta por vía intravenosa, pudiendo estar inicialmente sedados dependiendo de la absorción relativa de cada uno de los agentes. Se ha comprobado que factores ambientales como la temperatura, pueden afectar el cuadro clínico aumentando la mortalidad cuando la temperatura ambiental es superior a 31 °C. La sudoración abundante que se asocia a la intoxicación por cocaína puede no estar presente en los casos de frío ambiental o si el enfermo está muy deshidratado. Administrada por vía intravenosa, hecho poco habitual, la cocaína puede inducir la aparición de trombosis, infección generalizada y abscesos de pus. En estos casos, también puede ser causa directa de aparición de sida o hepatitis infecciosa (sobre todo por el intercambio de jeringuillas usadas).

En ocasiones, en individuos que han consumido mucha cantidad de cocaína durante largos periodos de tiempo, puede presentarse después que los efectos agudos hayan pasado. En esta situación puede estar profundamente somnoliento, aunque responde si le estimulamos, y los signos vitales pueden estar normales. Esta situación se debe a una depleción de las catecolaminas y posible deshidratación grave añadida a un estado de malnutrición.

Algunos individuos que han consumido cocaína pueden presentar movimientos involuntarios espasmódicos de las extremidades o músculos faciales (coreoatetosis) que se denominan «danza del crack», se debe a alteración de algunos neurotransmisores en el SNC.

Las complicaciones más graves de la intoxicación por cocaína son la hipertermia, la presencia de una crisis hipertensiva con riesgo entre otros de hemorragia cerebral, las arritmias cardíacas y la angina e infarto de miocardio. La muerte por sobredosis sobreviene normalmente por convulsiones generalizadas, arritmias cardíacas o insuficiencia respiratoria.

Mención especial refiere la situación de los denominados «body packers» o «boleros», individuos que ingieren paquetes de droga con el objetivo de cruzar las fronteras internacionales para trasportarla. La droga se trasporta en paquetes realizados con condones u otros productos de látex y cada uno puede contener 10 g de cocaína. A veces pueden tragar hasta 150 paquetes. En estas situaciones los pacientes pueden manifestar una gran variedad de síntomas y deben ser vigilados de forma muy estrecha con el control de los signos vitales, ya que

la rotura de un envase puede producir la muerte del sujeto, debido a que cada paquete puede contener hasta 10 veces la dosis letal. Estas situaciones pueden llevar a la muerte súbita del paciente.

Los denominados «*body stuffers*» son individuos que intentan disimular la evidencia de posesión de cocaína tragándose la droga cuando están siendo perseguidos por los oficiales de la ley. Debido a que ésta es una situación no planificada, suelen ser cantidades no muy importantes de droga, que por otro lado no está preparada de forma conveniente y tiene un sellado deficiente. Habitualmente los pacientes ingieren dosis no letales aunque de forma excepcional pueden presentar cuadros graves e incluso la muerte.

Los efectos de la cocaína en la madre y en el feto durante el embarazo pueden provocar desprendimiento de placenta, aborto espontáneo, alteración en el parto, rotura prematura de membranas e incluso rotura uterina. Desconocemos la situación actual del uso de cocaína en el embarazo ya que otros factores socioeconómicos pueden estar implicados y los efectos resultantes en el feto no pueden atribuirse de forma exclusiva al consumo de cocaína. Los hijos nacidos de madres consumidoras de cocaína presentan bajo peso, gestaciones más cortas y tienen más riesgo de muerte súbita, así como de malformaciones congénitas y alteración del comportamiento.

1.2 Anfetaminas

En muchos países la segunda sustancia ilegal más consumida corresponde a algún tipo de droga sintética, aunque probablemente hay más consumidores de cocaína a escala europea. La tendencia del consumo en Europa sugiere que puede haber una estabilización o incluso una disminución del consumo de anfetamina. No obstante, para el año 2005 se estimó una producción mundial de anfetamina de 88 toneladas. Su uso es más prevalente entre los más jóvenes y el consumo de estas drogas puede ser especialmente importante en algunos entornos sociales o grupos culturales. En todo el mundo, las anfetaminas (anfetamina y metanfetamina) y el éxtasis se cuentan entre las drogas sintéticas ilegales de mayor prevalencia.

La anfetamina y la metanfetamina son dos sustancias sintéticas estrechamente emparentadas. Ambas sustancias son estimulantes del SNC y comparten el mismo mecanismo de acción, efectos sobre el comportamiento, tolerancia, síndrome de abstinencia y acciones por consumo prolongado. La anfetamina es menos potente y duradera que la metanfetamina, pero en situaciones incontroladas los efectos son prácticamente idénticos.

Su utilización con fines médicos se limita a pacientes con problemas de atención, narcolepsia y algunos casos de depresión. Los efectos agudos de su consumo se parecen a los de la cocaína.

Al igual que el éxtasis, se presenta en forma de pastillas o comprimidos, pero también se consume el «hielo», la sal de hidrocloreuro pura y cristalina de la metanfetamina. Las pastillas de anfetamina o metanfetamina pueden ir decoradas con

logotipos similares a los de las pastillas de MDMA y otras pastillas de éxtasis. Dadas las formas físicas en que están disponibles, la anfetamina y la metanfetamina se pueden ingerir, esnifar, inhalar y, menos frecuentemente, inyectar. A diferencia de la sal de sulfato de anfetamina, el hidrocloreuro de anfetamina, en particular la forma cristalina («hielo»), es lo suficientemente volátil para ser fumado.

Adquiridas en establecimientos farmacéuticos, las anfetaminas se encuentran en estado puro. En el mercado negro, sin embargo, suelen estar adulteradas con efedrina, cafeína o fenilpropanolamina, o acompañadas de talco entre otras sustancias.

Síntomas asociados a la intoxicación por anfetaminas

Las anfetaminas son, fundamentalmente, aminas simpaticomiméticas que actúan como agonistas directos sobre los receptores de adrenalina y noradrenalina, inhibiendo su recaptación y provocando un efecto prolongado de estimulación en el sistema nervioso. Provocan sensación de alerta y confianza, además de aumentar los niveles de energía y autoestima. Afectan al hipotálamo, lugar donde se localizan los centros reguladores del hambre y la saciedad, ocasionando falta de apetito. También hace desaparecer la sensación de sueño.

En el plano psicológico, el consumo de anfetaminas puede producir cuadros psicóticos similares a una esquizofrenia, con delirios persecutorios y alucinaciones, además de depresión reactiva y una intensa dependencia psíquica. En el plano orgánico, pueden provocar hipertensión, arritmia cardíaca y colapso respiratorio, además de frecuentes trastornos digestivos. El síndrome de abstinencia generado por el consumo de anfetaminas se presenta como un cuadro muy grave de depresión, letargia y cansancio, lo que puede llevar a tomar grandes dosis de droga para mitigar dicho estado.

1.3 Éxtasis

El éxtasis hace referencia a sustancias sintéticas químicamente relacionadas con las anfetaminas, pero cuyos efectos son algo diferentes. La sustancia más conocida de la familia del éxtasis es la 3,4-metilenodioximetanfetamina (MDMA), aunque también pueden encontrarse otras sustancias análogas en las pastillas de éxtasis (MDA y MDEA).

Se sintetizó en el año 1914 como un supresor del apetito. Su uso recreacional y psicoterapéutico se inició en los años 70 y se popularizó hacia los años 90. Los datos actuales objetivan que entre el 0,3-7,2% de los adultos europeos reconoce haberlo probado. Acerca de la tendencia en el consumo, después de experimentar incrementos generalizados durante los años 90, en los últimos años parece percibirse cierta estabilización o incluso descensos moderados. En algunos países se observa una disminución del consumo, lo cual sugiere una pérdida de popularidad de la droga entre los grupos más jóvenes. Una cuestión que surge a partir de la información procedente de varios países es si la cocaína está reemplazando a las anfetaminas y al éxtasis como principal droga estimulante.

Es una sustancia psicoestimulante que se incluye en el grupo de las denominadas «drogas de diseño», es decir, compuestos de origen industrial químico-farmacéutico. Se comercializa en forma de pastillas o comprimidos, siendo muy habituales en discotecas y ciertos locales de fiesta nocturna. También se encuentran dosis en polvo, tabletas y cápsulas. En la actualidad, muchas presentaciones son adulteradas. Como adulterantes se encuentran la 3,4-metilenodioxianfetamina (MDA), que es causa de muerte en numerosos sujetos. El éxtasis también se mezcla con cafeína, ketamina, acetaminofén o mescalina. Existen más de 90 presentaciones del éxtasis que, al parecer, son usadas de acuerdo con el tipo de sensaciones buscadas. Su uso está estrechamente relacionado con los entornos recreativos, tales como los eventos de baile, en este entorno los índices de consumo son muy elevados, aunque no puede extrapolarse a la población general. También se informa sobre un policonsumo de drogas por parte de consumidores de éxtasis y, aunque los datos disponibles sobre el consumo combinado de drogas y alcohol siguen siendo limitados, el consumo de estimulantes en combinación con alcohol en entornos recreativos de música y baile está adquiriendo dimensiones cada vez más preocupantes.

Síntomas de la intoxicación por éxtasis

El éxtasis suele actuar estimulando la liberación de catecolaminas endógenas, fundamentalmente serotonina, e inhibiendo su posterior recaptación a nivel sináptico, ejerciendo una actividad estimulante sobre el SNC, particularmente a nivel de los sistemas que regulan ciertas variables vitales, como la temperatura, el hambre, el sueño, la sexualidad y la conducta agresiva.

En el plano psicológico, la administración de éxtasis produce euforia, mayor conciencia de las emociones y mejora la comunicación interpersonal. No produce alucinaciones como las experimentadas con el consumo de dietilamina del ácido lisérgico (LSD), pero sí que puede asociarse debido al aumento de la percepción sensorial con distorsiones e ilusiones. También puede cursar con crisis de ansiedad, trastornos depresivos y ciertas alteraciones psicóticas. Además, suele provocar dependencia psíquica.

En el plano orgánico, suele aparecer aumento de la temperatura corporal (hipertermia maligna o golpe de calor, donde la temperatura corporal puede llegar a alcanzar los 42-43 °C) y deshidratación, además de insuficiencia renal y hepática, arritmia cardíaca y trastornos convulsivos. La actividad muscular continuada requerida en el caso de uso del éxtasis en las fiestas de los clubes de baile favorece la aparición de destrucción muscular importante (rabdomiólisis) y la hipertermia referida previamente. También pueden producirse coagulopatías y, consecuentemente, hemorragias, trombosis o infartos cerebrales. En algunos casos, aparecen alteraciones de la percepción visual, temporal y táctil, lo que se traduce, por ejemplo, en visión borrosa y cromatismo visual. Existen además evidencias que demuestran un probable impacto negativo de la administración de éxtasis sobre la memoria. Actualmente está comprobada la neurotoxicidad del éxtasis sobre animales. En el ser humano, ciertos hallazgos apuntan a su gran probabilidad de provocar graves lesiones neuronales.

2. DROGAS DE ABUSO PSICODEPRESIVAS

Opioides

Se estima según los datos del último *Informe del Observatorio Europeo de las Drogas y Toxicomanías*, que el consumo de opioides oscila entre 1-8 casos por 1.000 adultos (entre 15-64 años de edad). En el análisis de 7.500 muertes por intoxicación aguda, en un 70% de los casos se encontraron opiáceos. Representó la droga principal en un 50% del total de las solicitudes de tratamiento y más de 585.000 consumidores de opioides recibieron tratamientos de sustitución en el año 2005. Parece existir una tendencia de consumo de opioides relativamente estable, aunque existen indicios que apuntan hacia un aumento de las incautaciones de heroína posiblemente relacionado con una creciente disponibilidad en el mercado europeo.

El término opioide se refiere a todos los agentes naturales, sintéticos o semisintéticos con acciones similares a la morfina. El término opiáceo se refiere a los agentes naturales derivados del opio, sustancia resultante de la desecación del jugo de las cabezas o cápsulas verdes de la *Papaver somniferum* (amapola o adormidera), planta originaria de Asia Menor. Los alcaloides naturales derivados del opio más conocidos son fundamentalmente la morfina y la codeína, aunque están descritos unos 20 derivados alcaloides naturales. Los derivados semisintéticos más comunes son, a su vez, la heroína y la metadona.

Las preparaciones de opioides se utilizan generalmente como analgésicos, pero poseen muchos otros efectos farmacológicos como de sedación, acción antitusígena (codeína) y como antidiarreicos. Otros, como la heroína, habitualmente conocida como «caballo», son potencialmente ilegales por sus enormes efectos adversos y su elevada dependencia, tanto física como psíquica. El consumo de los agentes opioides, fundamentalmente heroína, suele llevarse a cabo por vía intravenosa. Sin embargo, en la actualidad, debido a la propagación del sida entre numerosos drogodependientes, se ha generalizado la vía inhalatoria, aunque es una pauta de consumo que no se observa en todos los países.

De forma general, los compuestos opioides interactúan con los denominados receptores opiáceos del organismo que están ampliamente distribuidos en el SNC y que modulan la percepción del dolor. La toxicidad por los opioides puede ser debida a un efecto adverso en su uso terapéutico, por una sobredosis intencional o como consecuencia de un abuso intencional.

Los opioides pueden ser utilizados por vía intravenosa, subcutánea, intranasal, sublingual e incluso transdérmica. La heroína es habitualmente consumida por vía intravenosa o subcutánea y se asocia con un elevado grado de tolerancia, por lo que existe peligro de sobredosis en consumidores crónicos. Su administración intravenosa, unida al hecho de compartir los materiales inyectables usados, suele generar diversos problemas entre los heroinómanos, como por ejemplo, hepatitis, endocarditis, abscesos y ulceraciones dérmicas, candidiasis, septicemias y síndromes relacionados con el VIH.

Síntomas asociados a la intoxicación por opioides

De forma general, la intoxicación por agentes opioides cursa con depresión respiratoria y del sistema nervioso central, además de miosis (disminución del diámetro de la pupila). En algunas intoxicaciones pueden aparecer convulsiones y contracturas musculares que se relacionan con algunas sustancias acumuladas de algunos agentes opioides como la meperidina, aunque también puede ser el resultado de un daño cerebral por hipoxia como consecuencia de una sobredosis.

En el plano psicológico, el consumo de heroína, como droga opioide más habitual, suele provocar alteraciones de la personalidad y problemas cognitivos relacionados con la memoria. También son frecuentes las crisis de ansiedad y la depresión mental.

En el plano orgánico, la presión arterial y la temperatura corporal suelen decrecer progresivamente tras un consumo crónico de estas sustancias. Otros síntomas gastrointestinales como náuseas y vómitos son comunes en los casos de sobredosis, así como la disminución de la motilidad gastrointestinal con estreñimiento que en ocasiones puede ser muy grave. En algunas situaciones de sobredosis puede presentarse una hipoglucemia grave, sobre todo si hay consumo asociado de alcohol. También puede aparecer edema pulmonar de causa no cardiológica, broncoespasmo y acidosis respiratoria. Algunas de estas complicaciones respiratorias pueden ser debidas a los adulterantes que presentan las drogas. Producen dependencia física y psíquica, pudiendo generar un síndrome de abstinencia caracterizado por lacrimo, sudoración excesiva, rinorrea, insomnio, náuseas, vómitos, diarreas, fiebre y dolor muscular generalizado.

Hoy en día, se conocen numerosos derivados opiáceos no tóxicos que resultan muy útiles en el tratamiento de deshabituación y desintoxicación en heroinómanos. Por ejemplo, la metadona es un agonista puro de los receptores opiáceos que no produce efectos adversos sobre el organismo, por lo que suele aplicarse en los tratamientos progresivos de deshabituación. La buprenorfina es un agonista parcial que también resulta útil en ciertos casos. Por otra parte, en las instalaciones hospitalarias se dispone de sustancias antagonistas, como la naloxona, capaces de bloquear los efectos de la heroína y sus derivados en pocos minutos.

3. DROGAS DE ABUSO PSICODISLÉPTICAS

3.1 LSD

La dietilamina del ácido lisérgico (LSD) o «ácido» es la droga psicoactiva más potente. Con dosis mínimas se producen efectos psicodélicos o distorsionadores de la percepción de la realidad. Esta droga es un derivado sintético del ácido lisérgico y guarda una estrecha semejanza química con los algunos de los neurotransmisores del SNC como la serotonina, norepinefrina y dopamina. El LSD fue descubierto en 1938, y es una de las sustancias químicas más potentes capaces de alterar el estado de ánimo. Se fabrica a partir del ácido lisérgico,

encontrado en un hongo conocido como *Claviceps purpurea* o cornezuelo del centeno. Esta sustancia suele comercializarse ilegalmente en forma de tabletas, cápsulas, polvos y, en ocasiones, en pequeños dosificadores líquidos. Es inodora, incolora y tiene un sabor ligeramente amargo. La administración del LSD suele ser oral. Con frecuencia, la droga se agrega a papel secante y se divide en pequeños cuadrados decorados, habitualmente reconocidos como «tripis». Normalmente, los «tripis» están adulterados con anfetaminas.

Las tasas de consumo de LSD a lo largo de la vida entre los adultos varían entre el 0,2-5,5%, siendo el consumo de esta droga bajo según reflejan los datos del reciente *Informe del Observatorio Europeo de las Drogas y Toxicomanías*.

Síntomas asociados a la intoxicación por LSD

En la actualidad, se sabe que el LSD actúa de forma selectiva como agonista directo de los receptores de serotonina, aunque el conocimiento de los efectos de esta droga es incompleto. Los efectos del LSD son impredecibles. Dependen de la cantidad ingerida y de la personalidad y estado de ánimo del usuario. Los efectos psicoactivos pueden durar 12 horas, siendo el inicio de acción de unos 30 minutos y los efectos más intensos psicodélicos suelen ocurrir a las 4 horas de la ingesta.

En el plano psicológico, el consumo de LSD puede generar alucinaciones sensoriales (distorsión e intensificación de los colores y sonidos), reacciones de pánico y paranoia e intentos de suicidio, además de tendencias psicopáticas y reaparición espontánea de experiencias alucinógenas sin consumo de la droga («*flashback*»). Normalmente el sujeto es consciente de presentar las alucinaciones y es típica la sensación de euforia, aunque puede alternarse con sensaciones desagradables intensas que se acompañan de sufrimiento. Es habitual que ocurra una depresión transitoria tras su consumo.

En el plano orgánico, puede aparecer midriasis (dilatación de la pupila), hipertermia (no muy habitual), hiperglucemia, taquicardia e hipertensión. El LSD no causa dependencia física o psíquica, ni tampoco se conocen casos de síndromes de abstinencia. Se han descrito episodios de psicosis tras la ingesta de éste y casos de esquizofrenia que empeoran tras el consumo de la droga.

Tras una toma masiva, el paciente puede presentar un estado de coma sin respuesta a los estímulos dolorosos. También puede cursar un cuadro de hiperactividad con alucinaciones visuales y auditivas intensas. Las pupilas pueden estar dilatadas y sin responder a los estímulos, presentar sudoración intensa, vómitos, sangrado con hipertensión y convulsiones. Hay que destacar que el margen de seguridad de la droga es tremendo y que la dosis letal puede ser de más de 500 veces la dosis que se ingiere con una dosis de ácido.

3.2 Cannabis

El cannabis es la droga ilegal más consumida del mundo. Fue en los años 60 cuando su consumo se convirtió virtualmente en sinónimo de un creciente movimiento cultural alternativo entre los jóvenes. La popularidad del cannabis

podría haber alcanzado su punto álgido. Durante los años 90, el consumo de esta droga, especialmente entre los jóvenes, aumentó en prácticamente todos los países. No obstante, algunos de los datos más recientes sugieren que la tendencia al alza se está estabilizando, aunque a niveles máximos históricos. Casi una cuarta parte de los adultos ha probado el cannabis en algún momento de su vida, pero también se incluye a los jóvenes y muy jóvenes.

Su uso como sustancia medicinal es conocido desde tiempos antiguos sin embargo su uso es ilegal desde el inicio del siglo XIX. En los últimos años se están realizando nuevas investigaciones que tratan de esclarecer algunas utilidades terapéuticas de estas sustancias debido a sus posibles efectos beneficiosos en el control del dolor, de las náuseas y vómitos tras quimioterapia y su potencial modulador de la inflamación. El uso de moderadas dosis de cannabis en este contexto terapéutico habitualmente no está asociado con efectos graves adversos.

La *Cannabis sativa* y la *Cannabis indica* son unas de las primeras plantas cultivadas por el ser humano. Las sustancias bioactivas derivadas de estas plantas se denominan colectivamente canabinoides. El canabinoide que produce la mayoría de los efectos característicos de la droga, es el O-9-tetrahidrocannabinol (THC), aunque se han identificado más de 61 canabinoides diferentes y más de 300 sustancias diferentes en la planta del cannabis. El humo de la marihuana también contiene monóxido de carbono, cianuro, acetona y fenol, pero no nicotina.

La parte superior de la planta hembra se denomina *sinsemilla*, y las resinas de las flores sirven para hacer el *hashish* (hachís). La marihuana es el producto obtenido de la trituración de flores, hojas y tallos secos, posee una concentración de THC entre el 1-5%. El hachís por su parte tiene una concentración de THC entre el 15-50%. Por último, el aceite de hachís es la resina de hachís disuelta y concentrada, con una concentración de THC entre el 25-50%. El cannabis utilizado para producir fibra textil tiene una riqueza de THC inferior al 0,3%.

Habitualmente esta droga de abuso se emplea fumada, y por esta vía el 50% de la sustancia activa es absorbida. Asumiendo que un cigarrillo de marihuana pesa 0,8 g, el contenido de THC estaría comprendido entre 8-120 mg, y la mitad de este contenido pasaría al torrente sanguíneo tras ser fumado por el individuo. También puede ser ingerida mezclada con comida, y en este caso la absorción de las sustancias activas está en torno al 6%. Los efectos se producen a los 8 minutos y la duración se extiende alrededor de 2-4 horas si se ha fumado y de 6-12 horas si se ha ingerido.

Síntomas asociados a la intoxicación por cannabis

Los efectos agudos causados por el cannabis se relacionan sobre todo con el sistema nervioso central. Síntomas como euforia, ansiedad, cambios en la percepción sensorial y alteraciones psicomotoras son características de la intoxicación por cannabis, aunque la dosis que las provoca es muy variable entre los individuos.

En el plano psicológico, el consumo de cannabis además afecta al aprendizaje, a la concentración y a la memoria. Puede precipitar reacciones agudas de pánico y ansiedad, además de favorecer el desencadenamiento de trastornos

psiquiátricos de tipo esquizofrénico. Una reciente revisión sistemática de la literatura sugiere que existe una intensa asociación entre el consumo de cannabis y el desarrollo de trastornos psicóticos y, probablemente, con alteraciones de tipo afectivo. Su consumo se ha relacionado con la aparición del denominado síndrome amotivacional, caracterizado por inestabilidad emocional, despersonalización, falta de percepción temporal e incoordinación motora. A su vez, los consumidores crónicos desarrollan una potente dependencia psíquica, aunque no suele generar síndrome de abstinencia.

El consumo de cannabis aumenta la frecuencia cardíaca y altera la presión arterial, lo que puede tener graves consecuencias en pacientes con enfermedades cardíacas asociadas. Otros efectos negativos como consecuencia de fumar la droga son similares a los producidos por el tabaco. La exposición durante el embarazo puede tener consecuencias negativas en el desarrollo del cerebro y condicionar un posible deterioro en el futuro de las habilidades cognitivas.

Las alteraciones que produce el cannabis son en general reversibles, con la posible excepción de los consumidores crónicos de cantidades importantes. Es probable que los pacientes más jóvenes sean más vulnerables por desarrollar complicaciones psicóticas. No se han descrito muertes atribuidas únicamente al consumo de marihuana.

En el caso de los niños, los síntomas pueden conducir a hipotermia, alteración en la marcha, temblores, nistagmus (movimientos rítmicos de los globos oculares), taquicardia, enrojecimiento conjuntival y labilidad emocional. Si el niño ha ingerido marihuana muy concentrada, puede presentar una somnolencia que se desarrolla muy rápidamente, con debilidad muscular y situación de inconsciencia profunda, de la que es posible despertarlo pero vuelve a caer inmediatamente, y potencialmente puede provocarle coma y dificultad respiratoria por obstrucción de las vías respiratorias.

4. TENDENCIAS NUEVAS Y EMERGENTES EN EL CONSUMO DE DROGAS

Las tendencias emergentes en cuanto a las drogas a menudo reflejan, en parte, las modas actuales y los cambios socioculturales en materia de actividades de ocio. Los desarrollos tecnológicos, particularmente Internet, proporcionan canales que facilitan la difusión de nuevas tendencias en relación con el consumo de drogas y los riesgos asociados.

4.1 Piperazinas: BZP y mCPP

Las piperazinas como la benzilpiperacina (BZP) y derivados similares están introduciéndose recientemente como drogas de abuso. Presentan efectos estimulantes similares a las anfetaminas pero con menor potencia, aproximadamente una décima parte, y se venden como supuestos sustitutos legales del éxtasis. Se trata de una sustancia muy tóxica; que como otros estupefacientes químicos provoca psicosis y otros daños neuronales. Se han descrito ya algunos casos con complicaciones muy graves y algunos de muerte en los que la BZP se ha detectado, bien como agente único o asociado a otras drogas.

La mCPP (metaclorofenilpiperazina) se ha descrito como una sustancia que provoca efectos estimulantes y alucinógenos parecidos a los del éxtasis (MDMA). Las pastillas que contienen mCPP a menudo se diseñan para que se parezcan al éxtasis, casi siempre se comercializan como si lo fueran y en algunos casos ambas drogas aparecen combinadas. Podría suponerse que con la adición de mCPP se pretende potenciar o mejorar los efectos del MDMA.

Sus efectos en el hombre son de tipo neurológico, psiquiátrico y endocrino. Los casos de intoxicación descritos hasta la fecha no son muy graves aunque pueden complicarse con lo que se denomina síndrome serotoninérgico, cuadro clínico que incluye alteraciones de tipo neuromusculares (euforia, agitación, somnolencia o temblores), cardiovasculares (taquicardia e hipertensión) y gastrointestinales (dolor abdominal, diarrea y salivación). Como factor de riesgo de intoxicación se encuentra la existencia de enfermedad psiquiátrica previa y el tratamiento con otros fármacos que pueden interactuar con esta droga.

4.2 GHB (*γ*-hidroxibutirato)

Originalmente se sintetizó en los años 60 como agente anestésico y actualmente se utiliza con fines médicos en el tratamiento de la narcolepsia, la adicción al alcohol y en los síndromes de abstinencia del alcohol y opioides.

Todas las fuentes de información disponibles sugieren que la prevalencia general del consumo de GHB es baja, con niveles significativos de consumo limitados a ciertas subpoblaciones. El principal riesgo debido al consumo de GHB es el de la pérdida del conocimiento, especialmente cuando la droga se combina con alcohol u otras drogas sedantes. El consumo de GHB también puede provocar otros problemas, incluyendo la aparición de coma, descenso de la temperatura corporal, hipotensión, alucinaciones, náuseas, vómitos (hasta en un 50% de los casos), bradicardia y depresión respiratoria. Se observan también cambios en el comportamiento que van desde la agresión y el delirio, hasta el coma. Es típico de esta intoxicación encontrarnos con depresión grave de la respiración que se alterna con periodos de agitación y lucha.

Se ha observado una dependencia física al GHB después de un consumo prolongado, y se pueden plantear problemas adicionales para la salud debido a la posible presencia de disolventes u otros contaminantes tales como metales pesados.

4.3 Ketamina

Apenas existe información epidemiológica sobre el consumo de ketamina, aunque una reciente encuesta escolar realizada en el Reino Unido indicó tasas de prevalencia a lo largo de la vida inferiores al 0,5%. Se la denomina como «vitamina K» o «especial K». Se suele tomar por insuflación aunque también se puede tomar por vía subcutánea o por inyección intramuscular. Otros usos descritos se relacionan con la «bajada» o disminución de los efectos de la cocaína o anfetaminas.

Los síntomas que produce en casos de intoxicación son muy diversos y muchas veces es difícil diferenciarlos de otras sustancias de abuso. El sujeto puede estar

somnoliento, aletargado, o bien agitado, confuso o violento. Si el paciente presenta un traumatismo asociado es difícil valorarlo, ya que debido a que produce anestesia disociativa puede no presentar signos de dolor y así se retrasa el diagnóstico. En ocasiones presenta un aspecto catatónico, con hipertensión y taquicardia moderadas. Por otra parte, el tamaño de las pupilas no es característico en esta intoxicación. Otros síntomas que se pueden encontrar son la presencia de inestabilidad en la marcha, rigidez, dificultad respiratoria, aumento de las secreciones bronquiales, hipertermia y convulsiones. La duración de los síntomas suele ser inferior a una hora.

DIAGNÓSTICO ANALÍTICO DEL CONSUMO DE DROGAS DE ABUSO

En el diagnóstico del consumo de drogas de abuso tiene una relevancia indiscutible el estudio de la clínica del sujeto mediante entrevista y exploración física. No obstante, en el ámbito de la investigación criminal existe la necesidad de identificar y cuantificar la droga de abuso que consumió un determinado sujeto, dadas las implicaciones posteriores que estos valores pueden tener en el ámbito de la conducción, en el laboral, así como en el ámbito penal como atenuante o eximente de la responsabilidad criminal.

En el análisis de drogas de abuso existen dos fases bien diferenciadas, la primera de *screening*, cribaje o presunción, y la segunda de confirmación de la presencia de la droga, con identificación y cuantificación precisa. En la primera fase suelen establecerse unos puntos de corte de concentración para cada familia de drogas de abuso, ya que el sistema de detección empleado es muy sensible pero poco específico. Puesto que este capítulo no pretende agotar el amplio panorama del análisis toxicológico de drogas de abuso, a continuación se indicarán varios aspectos de interés en cada una de estas dos fases, de acuerdo con las últimas actualizaciones en el área.

1. TÉCNICAS DE *SCREENING* DE DROGAS DE ABUSO

Las técnicas de *screening* o presuntivas de la existencia de drogas de abuso incluyen técnicas inmunoquímicas (como EMIT™) y técnicas cromatográficas: (1) en capa fina (TLC), como el ToxiLabR System, y (2) de líquidos de alta resolución (CLAR).

1.1 *Detección presuntiva de drogas de abuso en orina*

La orina es la muestra por excelencia para la detección presuntiva de las drogas de abuso ya que es la vía de eliminación principal de los metabolitos e incluso de la droga sin alterar. Además, el tiempo de detección de los metabolitos se sitúa entre 2-4 días tras el consumo, con variaciones dependiendo de la droga consumida. Si se toma esta muestra y existe riesgo de engaño u ocultación del consumo es preciso controlar los parámetros del pH, densidad y

temperatura de la orina para evitar que haya diluciones con agua por parte del sujeto, o bien el cambio de su muestra de orina por la de otra persona o por la de otro momento.

1.2 Detección presuntiva de drogas de abuso en saliva

La saliva es una muestra cada vez más aceptada para el análisis toxicológico forense, especialmente en la detección presuntiva de drogas de abuso en la conducción de vehículos a motor por su simplicidad en la toma. Los inconvenientes principales incluyen el corto tiempo de detección de la saliva (12-24 horas tras el consumo), la posibilidad de interferencias por la posible contaminación oral y, dependiendo de los dispositivos empleados, la necesidad de concentraciones mayores que en orina y sangre para la detección de la droga. Los sistemas de detección en saliva de drogas de abuso, en general, son menos sensibles que los que tratan otros tipos de muestras, pero con los últimos aparatos que se están empleando a nivel mundial y en España, los resultados son muy esperanzadores. La base analítica es, al igual que otras técnicas presuntivas, un test inmunológico rápido que detecta por familia de drogas, resultado que tiene que ser confirmado posteriormente con cromatografía de gases y espectrometría de masas.

A fecha de hoy, existen test de detección de drogas en saliva que han sido homologados por la FDA de Estados Unidos y la Agencia Europea del Medicamento. En España se inició la detección de drogas en tráfico de forma oficial con estos test homologados en octubre del año 2007. Las familias de drogas que detectan y los límites de detección o punto de corte son los siguientes:

DROGA DE ABUSO	METABOLITO	PUNTO DE CORTE
Anfetamina	d-Anfetamina	50 ng/ml
Metanfetamina	d-Metanfetamina	50 ng/ml
Cocaína	Benzoilecgonina	20 ng/ml
Opiáceos	Morfina	40 ng/ml
Metadona	Metadona	30 ng/ml
Marihuana	Delta-9-THC	100 ng/ml
Fenciclidina	Fenciclidina	10 ng/ml
Benzodiacepina	De vida corta	10 ng/ml

Tabla 4. Límites de detección de las distintas familias de drogas

1.3 Detección presuntiva de drogas de abuso en otras muestras o mediante otros procedimientos no invasivos

Cabe citar aquí el análisis del pelo, del sudor y de la reacción pupilar a la luz con el denominado pupilómetro. Todos ellos son elementos de muestreo que no se emplean en todos los casos o que, como el pupilómetro, todavía no están implantados en España.

El pelo se está empleando de forma muy generalizada en los últimos años para el análisis de drogas de abuso durante el rango de 1-6 meses anterior a la fecha del análisis. Dado que cada mes el cabello crece un centímetro, su uso, por tanto, se limita al consumo crónico de drogas de abuso, aunque hay investigadores que están consiguiendo analizar drogas en pelo que se han consumido una semana antes del análisis. Este ratio de crecimiento no es aplicable al pelo situado en otros lugares diferentes al cuero cabelludo.

El sudor también parece de utilidad en la detección de consumo reciente de algunas drogas de abuso como la cocaína, especialmente los días o pocas semanas anteriores (unas 4). Su mecanismo de recogida implica la colocación de unos parches que recogen el sudor durante un tiempo determinado (días o semanas) y luego se retira y analiza. Tiene la desventaja de la posible contaminación ambiental y la variación interindividual en cuanto a la producción de sudor.

La técnica del pupilómetro es un sistema que analiza la respuesta pupilar a la luz de un determinado sujeto y la compara con los patrones normales de la misma. Se está aplicando en Estados Unidos y otros países para la detección de drogas y de fatiga en pilotos de aviación. Se trata de un mecanismo muy rápido, no invasivo, que no requiere de calibración y que puede emplearse por personal no especializado. La pupila reacciona ante la luz emitida por el aparato en su tiempo de cierre (miosis) y en su tiempo de apertura (midriasis), así como en la forma de contraerse y relajarse de una manera específica dependiendo de la droga que haya ingerido el individuo. En España se están realizando los trámites necesarios para que pueda implementarse este tipo de análisis.

2. TÉCNICAS DE CONFIRMACIÓN DE DROGAS DE ABUSO

Toda prueba realizada con una técnica de *screening* ha de ser confirmada siempre con otro método menos sensible y más específico que emplee un sistema de detección diferente al anterior y generalmente de tipo cromatográfico. Con este análisis, desde un resultado positivo para un grupo o familia de droga de abuso, se concreta el tipo de droga del que se trata y se puede cuantificar la concentración hallada.

Las técnicas más empleadas son la espectrometría de masas, con un sistema anterior de separación mediante cromatografía de líquidos o de gases, y la cromatografía de gases, que en drogas de abuso se emplea fundamentalmente como técnica de confirmación en el caso del alcohol etílico, aspecto que ya ha sido tratado en el correspondiente capítulo.

La espectrometría de masas identifica sustancias, previamente separadas, de una forma muy certera porque lo hace a través de la fragmentación molecular de su estructura química y mediante la comparación con el patrón de la librería de cada molécula. Pueden acoplarse dos espectrómetros de masa en serie para aumentar la sensibilidad del análisis desde miligramos o nanogramos, a niveles de picogramos.

3. CUESTIONES MÉDICO-LEGALES EN LA DETECCIÓN E INVESTIGACIÓN FORENSE DE LAS DROGAS DE ABUSO

Este apartado se completa con el contenido del capítulo sobre aspectos médico-legales de intoxicaciones por alcohol etílico, ya que casi todo lo señalado en éste se aplica también a las drogas de abuso.

3.1 Exigencias legales y técnicas en la detección de drogas de abuso

Las muestras empleadas para el análisis de drogas desde el punto de vista judicial requieren un control, si cabe, más exhaustivo que en el ámbito clínico por las importantes consecuencias legales que se pueden derivar del resultado de los análisis.

A lo largo del proceso de detección cualitativa y cuantitativa de las drogas de abuso habrá que cumplir determinados aspectos:

1. En la toma de muestras biológicas (orina, sangre, pelo, saliva, sudor...) habrá que contar siempre con el consentimiento escrito del sujeto, salvo imposibilidad y excepciones contempladas en el artículo 9 de la Ley 41/2002, de 14 de noviembre, y que atañen a peligro grave para la vida de la persona y/o imposibilidad total de prestar el consentimiento y ser necesario dicho análisis por indicación médica. Es preciso siempre salvaguardar la intimidad y dignidad en su recogida, siendo importante que los datos personales de filiación del interesado no figuren en el recipiente que contiene la muestra biológica, sino que sean sustituidos por un sistema de códigos de identificación durante toda su fase analítica.

Además es preciso seguir el protocolo señalado en la Orden de 8 de noviembre de 1996 por la que se aprueban las normas para la preparación y remisión de muestras objeto de análisis por el Instituto de Toxicología. En el caso de la orina, como ya se ha mencionado, habrá que controlar que corresponda al sujeto examinado y al momento de la micción y no se haya realizado un cambio de orina. Para ello será preciso comprobar la temperatura de la muestra de orina, que deberá ser muy próxima a la corporal (37 °C), así como verificar sus propiedades de color, pH y concentración de algunos componentes de la misma para verificar que no ha sido diluida. Las muestras de orina pueden orientar en el consumo de drogas consumidas entre 2-4 días antes, salvo en el caso del cannabis que el intervalo de detección puede ser de hasta dos meses después.

2. Durante el envasado y conservación de las muestras, es una exigencia legal que los encargados de la toma y análisis de éstas eviten que se deterioren, así que deberán tomarse las medidas de temperatura y almacenamiento necesarias en cada caso.
3. El envío al laboratorio, recepción y registro en el mismo, y análisis requieren del estricto cumplimiento de la cadena de custodia de las muestras. La cadena de custodia recoge quién está siendo responsa-

ble de la muestra en todo momento y qué embalaje, análisis u otra operación se ha realizado y por quién a lo largo de todo el proceso. Garantiza que la muestra está siendo vigilada y trazada desde su recogida hasta la interpretación de los resultados del análisis, evitando un cambio, pérdida o sustracción de la misma.

Es una exigencia que los laboratorios que analizan con fines periciales estén acreditados para el análisis de las drogas de abuso implicadas. En el caso de los laboratorios dependientes del Ministerio del Interior o de Justicia, como el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses, esta acreditación resulta implícita, pero no obstante, muchos de sus departamentos están realizando los trámites para dicha acreditación por un organismo nacional encargado de esta labor y denominado Entidad Nacional de Acreditación (ENAC). Para los centros sanitarios públicos y privados y los laboratorios privados dedicados al peritaje el hecho de recibir esta acreditación estatal está altamente recomendado.

3.2 Interpretación de los resultados

La existencia de falsos positivos y falsos negativos en el proceso de *screening* y posterior confirmación de la existencia de una droga de abuso hace necesario, por una parte, el desarrollo y actualización de los niveles de corte, *cutoff* o niveles mínimos de detección de las técnicas. Estos niveles para cada grupo químico de droga de abuso suelen ser más elevados en las técnicas de *screening* o presuntivas en comparación con las técnicas de confirmación. No obstante, en los grupos químicos de drogas de barbitúricos, benzodiazepinas, codeína y metadona, por ejemplo, los niveles suelen mantenerse en el mismo rango entre unas técnicas y otras.

Por otra parte, para reducir el efecto erróneo de un análisis de tipo cualitativo positivo se deben cumplir los siguientes criterios:

1. Que se haya detectado el grupo químico en cuestión en al menos una técnica de *screening*, incluyendo la cromatografía de líquidos con detector diferente a la espectrometría de masas.
2. Que se haya identificado la sustancia en técnica cromatográfica de confirmación, de preferencia, la cromatografía de gases con espectrometría de masas.

Una vez identificada la droga de abuso, su cuantificación se realiza comparando la altura y el área bajo el pico cromatográfico en las rectas de calibración bien elaboradas con sustancias patrón idénticas a la analizada.

3.3 Drogodependencia e intimidad

El análisis de drogas de abuso ha de realizarse siempre con el consentimiento previo del sujeto salvo en los casos recogidos en la Ley 41/2002, de 14 de noviembre, en los que sea imposible obtenerlo y sea de vital importancia el análisis para llegar a un diagnóstico médico.

Menos en esta situación, y salvo que medie una orden judicial, no se puede realizar una detección de drogas en un individuo si éste no ha prestado su consentimiento de forma preferentemente escrita.

El derecho a la intimidad, garantizado por la Constitución Española, cobra especial relevancia en el ámbito laboral, en donde previo acuerdo con el trabajador en su contrato laboral, puede existir un protocolo de detección de drogas de abuso en puestos de trabajo donde exista una mayor necesidad de concentración y atención por peligro para la vida de los demás. Al igual que en el caso del etanol, dichos trabajos serán los que conlleven el porte de armas de fuego, la conducción de vehículos públicos a motor o aviones y los trabajos en altura, entre otros.

Asimismo, en el caso del consumo de drogas de abuso en menores de edad, es preciso que el médico que tiene conocimiento notifique dicho hecho a los padres o tutores, especialmente si la droga, su cantidad o forma de consumo sea especialmente grave.

3.4 Drogas de abuso y conducción de vehículos a motor

La Dirección General de Tráfico calcula que en el 10% de los accidentes hay sustancias estupefacientes implicadas. En *Informe del Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses* del año 2004, del total de 1.191 análisis realizados a conductores de vehículos fallecidos en accidentes de tráfico se detectó, por orden de frecuencia, en un 37,4% alcohol etílico, en un 5,2% cocaína, en un 3,4% benzodiacepinas, en un 2,5% cannabis y en un 2,4% opiáceos y metadona. El resto de drogas de abuso supusieron un porcentaje ínfimo del total.

Por otra parte, el último informe (2009) realizado por el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses señala que de los 975 casos de conductores fallecidos en 2008 analizados en su laboratorio, un 27% dio positivo para drogas y un 13% para psicofármacos. De este grupo de positivos para drogas, la cocaína estaba implicada en el 55% de los casos, seguida del cannabis, en el 29%.

Tal y como ha sido ya incluido en el apartado sobre alcohol etílico del presente manual, el Código Penal vigente con su reciente modificación mediante la Ley Orgánica 15/2007, de 30 de noviembre, incluye expresa mención a las drogas tóxicas, estupefacientes y sustancias psicotrópicas en su artículo 379.

Además, también está tipificado en el artículo 383 del Código Penal el hecho de que el conductor «requerido por un agente de la autoridad, se negare a someterse a las pruebas legalmente establecidas para la comprobación de las tasas de alcoholemia y la presencia de las drogas tóxicas, estupefacientes y sustancias psicotrópicas a que se refieren los artículos anteriores [...]».

Con respecto a las técnicas empleadas para el análisis de la presencia de drogas de abuso en la conducción, se aceptan todas aquellas que se encuentren validadas y acreditadas para su empleo mediante estudios poblacionales y agencias internacionales o estatales. Actualmente se está empleando un test de saliva homologado para la detección de drogas de abuso, además del alcoholímetro

acreditado Alcotest 7110 MK III de Dräger para el alcohol etílico. Estas pruebas tendrán que ser confirmadas mediante técnicas más específicas propias de la fase de identificación y cuantificación.

El test de saliva homologado por la Unión Europea se comenzó a emplear en tráfico en octubre de 2007. La Dirección General de Tráfico encontró en el primer fin de semana de controles que el 8% de los que se sometieron a estas pruebas tuvo un resultado positivo. El dato es llamativamente alto, ya que la Dirección General de Tráfico en los controles de alcoholemia, encuentra valores positivos entre el 1-2% de los que soplan por el alcoholímetro.

Cannabis y conducción

El consumo agudo de cannabis altera la capacidad cognitiva (atención, memoria, percepción y resolución de problemas) y el rendimiento psicomotor. Los efectos son similares a los producidos por el alcohol y las benzodiazepinas e incluyen enlentecimiento en la velocidad de reacción, incoordinación motora, alteración de la memoria a corto plazo, dificultades de concentración y afectación de la atención dividida.

Los últimos estudios de revisión recogidos en la Comisión Clínica de la Delegación del Gobierno para el Plan Nacional sobre Drogas en el año 2006 han demostrado que, en pruebas de laboratorio y en estudios experimentales de conducción de vehículos en circuitos cerrados o con tráfico, el deterioro provocado por el cannabis era máximo 1 hora después de ser fumado y entre 1-2 horas después de ser ingerido por vía oral. Se ha podido además establecer una relación dosis-efecto. Cuando la dosis de cannabis está entre 200-300 microgramos/kilo de peso, equivalentes a un cigarrillo conteniendo entre 14-21 mg de THC en una persona de 70 kg, los efectos perturbadores sobre la conducción son similares a los inducidos por el alcohol etílico a concentraciones en sangre ó 0,5 g/l. La afectación psicomotora se incrementa al combinar el cannabis con etanol u otros sedantes.

Los efectos del cannabis en cuanto a la seguridad vial y su implicación en los accidentes de circulación se han estudiado también en muestras de accidentes en los que se ha demostrado la presencia de cannabinoides en la sangre u orina. Pero es preciso señalar que el patrón de policonsumo dificulta que pueda establecerse una asociación causal clara entre el consumo del cannabis y los accidentes.

Existen estudios que demuestran un mayor riesgo de colisiones, con resultado de lesiones y muerte en las personas que conducen bajo los efectos de cannabis, de hecho la bibliografía señala que la presencia de cannabis se asocia a un riesgo de casi 3 veces mayor de colisión. Cuando el cannabis se asocia a alcohol etílico, el riesgo se incrementa en 4,8 veces más que en situaciones normales.

5

SEXOLOGÍA MÉDICO-LEGAL. DELITOS CONTRA LA LIBERTAD SEXUAL: AGRESIONES SEXUALES, ABUSOS SEXUALES Y VIOLACIÓN

Rosa María Marote González

Médico Forense del Juzgado de Violencia sobre la Mujer nº 3 de Madrid

Francisco Javier Pera Bajo

Director de la Clínica Médico Forense de Madrid



DELITOS CONTRA LA LIBERTAD SEXUAL

Castelló, Francès y Verdú (*Cuadernos de Medicina Forense*, 2009) proponen definirlos como práctica de conductas sexuales, manifiestamente dolosas o eventualmente culpables que -con evidente desprecio de la víctima- le causan trastornos físicos o psíquicos de distinta entidad.

LEGISLACIÓN

Estos delitos se encuentran recogidos en los capítulos I-V del título VIII del libro II del Código Penal (Delitos contra la libertad sexual), derivado de la Ley Orgánica 10/1995 de 23 de noviembre, con modificación en la Ley Orgánica 11/1999, de 30 de abril (que pasa a denominarse Delitos contra la libertad e indemnidad sexuales).

Figura 1. Lesiones producidas por ataque sexual

CAPÍTULO I. DE LAS AGRESIONES SEXUALES.

Artículo 178.

El que atentare contra la libertad sexual de otra persona, con violencia o intimidación será castigado como responsable de agresión sexual con la pena de prisión de uno a cuatro años.

Artículo 179.

Cuando la agresión sexual consista en acceso carnal por vía vaginal, anal o bucal, o introducción de objetos por alguna de las dos primeras vías, el responsable será castigado, como reo de violación, con la pena de prisión de seis a doce años.

Artículo 180.

1. Las anteriores conductas serán castigadas con las penas de prisión de cuatro a diez años para las agresiones del **artículo 178**, y de doce a quince años para las del artículo 179, cuando concurra alguna de las siguientes circunstancias:
 1. Cuando la violencia o intimidación ejercidas revistan un carácter particularmente degradante o vejatorio.
 2. Cuando los hechos se cometan por la actuación conjunta de dos o más personas.
 3. Cuando la víctima sea especialmente vulnerable, por razón de su edad, enfermedad o situación, y, en todo caso, cuando sea menor de trece años.

4. Cuando, para la ejecución del delito, el responsable se haya prevalido de una relación de superioridad o parentesco, por ser ascendiente, descendiente o hermano, por naturaleza o adopción, o afines, con la víctima.
5. Cuando el autor haga uso de armas u otros medios igualmente peligrosos susceptibles de producir la muerte o alguna de las lesiones previstas en los artículos 149 y 150 de este Código Penal, sin perjuicio de la pena que pudiera corresponder por la muerte o lesiones causadas.
2. Si concurrieren dos o más de las anteriores circunstancias, las penas previstas en este artículo se impondrán en su mitad superior.

CAPÍTULO I. DE LOS ABUSOS SEXUALES.

Artículo 181.

1. El que, sin violencia o intimidación y sin que medie consentimiento, realice actos que atenten contra la libertad o indemnidad sexual de otra persona, será castigado, como responsable de abuso sexual, con la pena de prisión de uno a tres años o multa de dieciocho a veinticuatro meses.
2. A los efectos del apartado anterior, se consideran abusos sexuales no consentidos los que se ejecuten sobre menores de trece años, sobre personas que se hallen privadas de sentido o de cuyo trastorno mental se abusare.
3. La misma pena se impondrá cuando el consentimiento se obtenga prevaliéndose el responsable de una situación de superioridad manifiesta que coarte la libertad de la víctima.
4. Las penas señaladas en este artículo se impondrán en su mitad superior si concurriere la circunstancia 3 o la 4, de las previstas en el apartado 1 del artículo 180 de este Código.

Artículo 182.

1. En todos los casos del artículo anterior, cuando el abuso sexual consista en acceso carnal por vía vaginal, anal o bucal, o introducción de objetos por alguna de las dos primeras vías el responsable será castigado con la pena de prisión de cuatro a diez años.
2. La pena señalada en el apartado anterior se impondrá en su mitad superior cuando concurra la circunstancia 3 o la 4 de las previstas en el artículo 180.1 de este Código.

Artículo 183.

1. El que, interviniendo engaño, cometiere abuso sexual con persona mayor de trece años y menor de dieciséis, será castigado con la pena de prisión de uno a dos años, o multa de doce a veinticuatro meses.
2. Cuando el abuso consista en acceso carnal por vía vaginal, anal o bucal, o introducción de objetos por alguna de las dos primeras vías, la pena será de prisión de dos a seis años. La pena se impondrá en su mitad superior si concurriera la circunstancia 3 o la 4 de las previstas en el artículo 180.1 de este Código.

La jurisprudencia del Tribunal Supremo (sala 2ª, de 8/7/2005, nº 9/05) recoge que «cuando no es el autor del hecho el que penetra a su víctima sino al contrario, es ésta la que le penetra a él, es equivalente acceder carnalmente a hacerse acceder». Por tanto, también existiría delito en las penetraciones pasivas.

INCIDENCIA

Se ha publicado un incremento del 70% de 2004 a 2005 en los casos atendidos en el servicio de urgencias del Hospital Clínico de Barcelona. Las víctimas son en un 96% mujeres, el 2% precisan ingreso, la edad predominante oscila entre 21-25 años, el 50% de los agresores son desconocidos, los hechos suelen producirse generalmente en la calle, y se ha detectado un aumento de efectos de sustancias de abuso en víctimas y agresores.

En Madrid se producen tres denuncias diarias. La mayoría son agresiones y abusos sexuales sin penetración, seguidas de violaciones y, en menor medida, acoso sexual. En 2/3 de los casos se recogen ataques con violencia. Es frecuente en los menores de 20 años, que se produzcan en su entorno familiar o en la «movida». Se considera que puede haber un incremento de denuncias por un aumento de conciencia social ante la situación.

En España, en 2004 se denunciaron diariamente 298 casos de abusos sexuales (32 de ellos con penetración), 48 de acoso sexual, y 597 agresiones sexuales, de las que 219 fueron violaciones con resistencia. Lamentablemente, el 77% de casos quedaron sin resolver.

En 2006, se produjeron 2.468 agresiones sexuales, de las que 1.481 fueron con penetración, 2.182 abusos, sobre un total de delitos contra la libertad sexual de 8.522 casos.

El grupo de edad más numeroso en cuanto a detenidos fue el de 21-30 años, próximo al de 31-40; y entre los menores detenidos, la mayor incidencia fue del grupo de 16 años, pero en número similar al de 15-17 años, con casos entre menores de 13 años.

ANATOMÍA

En la mujer que no ha mantenido relaciones sexuales completas, suele existir a la entrada de la vagina una membrana (himen), que suele romperse habitualmente en la primera penetración. Generalmente tiene en el centro un orificio (introito), que permite la salida del flujo menstrual. Su forma, variable, se reconoce con nombres que la describen, y en cada uno de los casos la rotura se hará de una forma característica, que se menciona según las horas de la esfera del reloj.

Tipos de himen y zonas de rotura en la desfloración:

- a) Anular (orificio central; se rompe: 2, 5, 7 y 10)
- b) Semilunar (inferior; se rompe: 4 y 8)

- c) Bilabiado (hendidura vertical; se rompe: 6 y 12)
- d) Atípicos: cribiforme, septado, imperforado, en coliflor.

La consistencia del himen también es variable, y por ello se suele clasificar en:

1. Complaciente (elástico: se dilata y recupera, a diferencia del dilatado, que mantiene el diámetro agrandado, por dilataciones progresivas)
2. Fibroso
3. Cartilaginoso
4. Óseo (no es infrecuente que para realizar la primera cópula, la mujer tenga que acudir al ginecólogo para que realice quirúrgicamente la apertura del orificio)

Ya hemos mencionado que, esencialmente, la rotura de la membrana himenal es por cópula (99,5%), siendo infrecuentes otros mecanismos. Existe la posibilidad de reparación quirúrgica (neo-himen de mucosa vaginal), esencialmente para contraer matrimonio en determinadas culturas, o para vender la «virginidad» varias veces al mejor postor. En caso de desgarro o rotura, ésta llega hasta el borde, con cicatrización ulterior. No así en los casos de la existencia de una variante anatómica que es la escotadura, que no llega hasta el borde, está recubierta por epitelio y suele ser simétrica.

Algunos datos nos indican la data de la rotura:

- Si es reciente (menos de 10 días), estará hinchado, rojo y sangrante.
- Si es antigua, en la exploración se apreciará seco, liso y de color rosa o blanco.

No son infrecuentes las denuncias de abusos o violaciones en niñas de corta edad. Por ello hay que conocer que el tamaño del orificio: hasta los 5 años de edad, es menor 4 milímetros, midiendo a partir de los 5 en milímetros tanto como los años.

Las penetraciones también pueden realizarse por vía anal. El ano es un canal de longitud entre 1,4-2 centímetros, con un esfínter interno y otro externo que voluntariamente se relajan para realizar la defecación.

Cuando exploramos a la víctima tras una agresión, nos encontramos con diversos signos que nos permiten diferenciar la data de los hechos:

- a) Signos de violencia reciente:
 - Desgarro triangular a las 6
 - Desgarro en algunos pliegues
 - Desgarros recto-perineales
 - Hemorragias en los desgarros de paredes
- b) Signos de coito habitual (no patognomónicos; otros procesos son capaces de causarlos):
 - Borramiento de los pliegues
 - Relajación del esfínter

- Ano infundibuliforme
- Cicatrices de desgarros

Tras una agresión por vía anal, nos encontramos: en las primeras 24 horas, una parálisis antiálgica, con dilatación de 1,2-2,5 centímetros de diámetro. Existirá un espasmo del esfínter, salvo rotura. La resolución se inicia al segundo día, y es completa 5-7 días después.

DATOS DE LABORATORIO

En las muestras que tomamos en la víctima tras la denuncia de una agresión, podemos encontrar una serie de elementos, de diversas características, que nos indicarán la existencia del acto sexual, la posible falta de consentimiento, la data y la individualidad del agresor.

El semen, fluido emitido por el varón en la eyaculación, contiene espermatozoides (células nucleadas, y por tanto con ADN), fosfatasa ácida y PSA.

Para calcular la data de la muestra, observaremos la movilidad de los espermatozoides. Son móviles en muestra tomada de vagina a las 24 horas, y a las 43 en cuello y cavidad uterina. Y solamente son móviles durante 5 horas en el resto de localizaciones. Se pueden encontrar espermatozoides inmóviles hasta 7 días después de la eyaculación en vagina, hasta 3 días en recto, y solamente 1 en boca.

Se ha logrado identificar espermatozoides en vaginas de cadáveres hasta 16-77 días (según los autores), y en boca hasta 40 días después. Como norma general, se apreciará movilidad hasta 12-24 horas tras la eyaculación, y se apreciarán células pero inmóviles hasta 3-4 días después. Es posible que la muestra no contenga espermatozoides, lo cual nos indicaría que no hubo eyaculación, que la persona no tiene células reproductoras (azoospermia), o que la muestra es de mala calidad.

El eyaculado tiene también una enzima segregada en la próstata, que es la fosfatasa ácida. Ésta persiste 3 años en muestras secas (manchas en ropa). En los cadáveres, se objetiva hasta 7-14 días en vagina, hasta 36 horas en boca, y hasta 24 horas en recto. Mantiene actividad enzimática hasta 72 horas en vagina. Dada la alta sensibilidad, podemos determinar su existencia hasta en el 99,4% de las manchas (hasta 3-4 años y medio después).

Durante 24 horas podemos encontrar en vagina PSA (antígeno específico prostático).

En el caso de que existan restos de saliva, se puede determinar alfa amilasa (enzima) durante unas horas.

La importancia del pelo es de gran relevancia, ya que si se recupera con el bulbo piloso se puede determinar el ADN ya que en él se encuentran células nucleadas.

Se considera que cuando se realiza el acto sexual, se transfiere vello púbico del hombre a la mujer en un 10,9% de los casos, y en un 23,6% en sentido contrario. Si realizamos a denunciante y denunciado un peinado púbico, la cifra suma 34,5%, es decir, en más de 1/3 de los casos nos encontraremos pruebas biológicas relevantes.

Es muy frecuente que la víctima se defienda y que no disponga para ello más que de sus manos; con ellas puede arañar al agresor, y de los lechos ungueales recuperaremos tejido posiblemente nucleado, de interés para individualizar al agresor. Los arañazos más profundos se producen con las uñas de los dedos segundo y tercero (índice y anular), y se encontrará más material si el arañazo se ha producido sobre piel que no sea muy callosa, existiendo relación entre la cantidad de muestra y la fuerza aplicada. Será difícil obtener material si en la exploración al agresor no encontramos arañazos.

En la búsqueda de restos biológicos en cavidad bucal en casos de felaciones, debemos incidir especialmente en la zona posterior de los incisivos medios superiores, por ser donde permanecen los restos más tiempo. Igualmente los surcos gingivales son de interés, y en los gargarismos de la víctima se encuentran restos del agresor hasta en un 25% de los casos.

ESTUDIO DE LA VÍCTIMA

La exploración debe ser completa, y no solamente de las zonas que nos indique que han sido afectadas por la agresión, ya que las muestras que no se tomen y procesen en las primeras horas será muy difícil que posteriormente puedan rescatarse y utilizarse en la investigación.

Siempre hay que buscar signos de lucha y defensa, con preponderancia en los bordes cubitales de manos y antebrazos, uñas, etc.

La exploración suele dividirse en:

1. Psicológica (buscar afectación compatible con la situación padecida, déficits intelectuales que faciliten la agresión o la escasa comprensión del acto, efecto de sustancias...).
2. Estado general (colocación adecuada de ropas, integridad de las mismas, estado del peinado, etc.).
3. Exploración genital.
4. Exploración anal.
5. Exploración extragenital:
 - a) Por inmovilización: impresiones digitales en brazos, consistentes en varios hematomas redondeados por dígito-presión.
 - b) Por intentos de acallar a la víctima: equimosis y erosiones en cara y cuello, con marcas de las uñas del agresor en torno a la boca de la

víctima, dígito-presión en el cuello, hematomas en borde interno de labios al presionarlos contra los dientes.

- c) Intentos de aturdimiento, golpeando la cabeza con objetos contundentes o repetidamente contra el plano del suelo.
- d) Signos de fuerza para lograr la apertura de muslos: equimosis y erosiones por las uñas en la cara interna de los mimos.
- e) Signos de apoyo forzado de las zonas óseas prominentes contra plano duro: en pelvis y escápulas, se aprecian abrasiones y contusiones.
- f) Signos de agresividad sádica: sugilaciones, mordiscos, heridas...
- g) Posibilidad de aparición de embarazo y de contagio de enfermedades venéreas.

En el Hospital Parkland de Texas, Stone realizó un estudio en 451 víctimas: en el 34% habían signos de violencia general (abrasiones, contusiones y/o laceraciones), en el 18% signos de violencia en genitales (enrojecimiento, abrasiones, contusiones o laceraciones), y se recuperaron en el 47% espermatozoides, de los que el 19,3% eran móviles.

TOMA DE MUESTRAS

En todos los casos obligatorias y completas, por lo ya mencionado.

1. Externas: se coloca a la víctima sobre una sábana para retirar la ropa y que no se pierda ningún resto; se realiza la técnica de la doble torunda y foto en mordeduras (las mordeduras tiene carácter de individualidad; la doble torunda consiste en pasar sobre la zona en la que ha habido cualquier tipo de muestra y puede estar seca en el momento de la exploración, un primer algodón impregnado de suero salino, y un segundo seco, que recogerá el material recuperado por el primero); limpieza profunda de uñas; cabellos que se puedan encontrar en la víctima; peinado púbico; ropa interior, especialmente si no se ha cambiado, etc.
2. Internas: de boca, vagina y ano (en posición de decúbito prono para no contaminar).

El kit de agresiones sexuales contiene para la toma de las muestras mencionadas:

- Cuestionario
- Bata desechable
- Mascarillas desechables
- Guantes

- Espéculo vaginal
- Sábana
- Cubrecamilla
- Bolsa de desechos
- 8 *swab*, hisopos, viales agua y precintos
- 4 sobres para pelos y uñas
- 2 sobres recogida ropa interior
- Braga desechable
- Pinzas
- Peine
- Cortauñas
- Instrucciones y formulario

SIGNOS DEL ACTO SEXUAL

La desfloración es imposible por debajo de los 6 años; se producen grandes desgarros entre los 6-11 años. Cuando es reciente, se aprecian desgarros en el himen (en el introito no debe pasar un dedo, y aquí sí que sería posible) y existencia de heridas en genitales externos.

La existencia de determinados hallazgos no es indicativo obligado de una relación forzada:

- a) En cualquier coito, consentido o no, podemos encontrar:
 - Esperma
 - Enfermedades venéreas
 - Fecundación
- b) Pero sí sería indicativo de resistencia: signos de lucha y defensa.

LUGAR DE LOS HECHOS

En cuanto al lugar en que se suelen producir, los datos estadísticos son:

- a) Espacio abierto 17,8%
- b) Lugar habitado cerrado 67,3%
 - domicilio 55,7%
 - locales 11,6%
- c) Automóvil 14,9%

ESTUDIO DEL SOSPECHOSO

Se realizará el protocolo de exploración y de toma de muestras:

1. Búsqueda de células vaginales en el lavado del pene y especialmente en el surco balano-prepucial.
2. Existencia de secreciones eyaculatorias en el meato.
3. LUV en ropas y piel; manchas de sangre.
4. Lesiones de lucha: cara, manos y genitales.
5. Enfermedades venéreas (con seguimiento en la víctima por si se ha contagiado tras un periodo de incubación variable).
6. Existencia de erosiones en glande y rotura del frenillo, por penetración contra resistencia.
7. De la víctima puede localizarse: sangre, células vaginales y heces.

Wells publicó en el *Journal of Clinical Forensic Medicine* 13 (2006) un estudio que tituló «Mitos y errores en las agresiones sexuales»:

- a) En el adulto, todos los orificios son distensibles, por lo que, ante la sospecha entre dos adultos sanos de que por ser las dimensiones de genitales y orificios diferentes no se hubiese podido producir la penetración, no se descartaría la posibilidad del acto sexual.
- b) No hay proporción fija entre el tamaño del pene en reposo y en erección.
- c) La medición del pene erecto no tiene interés forense.

Por tanto, la defensa nunca podría alegar la imposibilidad del acto con estos argumentos.

EL PRESERVATIVO

Los agresores lo emplean, no para prevenir embarazos o contagios a la víctima, sino para evitar ser identificados con métodos de estudio de ADN. El FBI ha determinado que mayoritariamente el agresor se desprende del mismo en los 15 minutos siguientes a la agresión, desechándolo en el radio de 1 milla, por lo que éste sería el objetivo del peinado en la investigación. Se suele utilizar la misma marca, lo que permitiría una clasificación previa de agresores, y en él se puede determinar en laboratorio restos de: espermatozoides, células de la víctima, lubricantes y espermicidas.

HOMICIDIOS RELACIONADOS CON LAS AGRESIONES SEXUALES

Cuando la víctima es una mujer, suele encontrarse el cadáver en decúbito supino, sin ropa, o sin la parte inferior de la misma y con el sujetador subido; las extremidades inferiores se encuentran separadas; pueden apreciarse mordeduras en mamas y contusiones en interior de muslos (el agresor hace fuerza

para separar los muslos de la víctima); suelen aparecer laceraciones en el introito a las 6 (parte inferior, característico de penetraciones forzadas); pueden encontrarse lesiones leves en el borde anal; el explorador debe hacer un estudio con luz ultravioleta en el periné (se apreciarán las manchas de esperma), en los muslos y en el área perianal. En las zonas donde pueda haber restos de saliva, se tomará muestra con la técnica ya explicada de la doble torunda, y se realizarán fotografías de las mordeduras.

El motivo del homicidio puede ser diverso. En ocasiones lo que quiere el agresor es vencer la resistencia de la víctima y al excederse en la fuerza o en el método empleado para ello ocasiona su muerte. Otras veces y ante los gritos generados, pretende acallarla, pero por el mecanismo empleado, la fuerza o el tiempo de duración la mata. En muchos casos el agresor conoce a la víctima, y la elimina para que no pueda delatarlo. Finalmente, podemos hablar del grupo de los que obtienen satisfacción con el sufrimiento ajeno, excediéndose en el logro del mismo o buscando directamente su muerte.

Los mecanismos por los que el agresor sexual suele acabar con la vida de la víctima, suelen ser:

1. Estrangulación

Generalmente para conseguir que la víctima deje de gritar. De los dos mecanismos existentes, a mano o a lazo, suele emplearse el primero. Hace falta una desproporción de fuerza entre víctima y agresor, o que aquélla se encuentre con la capacidad de defensa reducida por efecto de sustancias o minusvalía previa. Son típicos la rotura de las astas del hueso hioides, que se encuentra en la parte antero-superior del cuello, las hemorragias en los músculos cervicales, los hematomas por dígito presión y las petequias conjuntivales.

2. Traumatismo craneoencefálico

En este caso se intenta reducir la resistencia de la víctima y el nivel de conciencia, y se le golpea con un objeto contundente o frecuentemente de forma repetida contra el plano del suelo; encontraremos en el cadáver contusiones en la zona occipital, fracturas lineales si es contra un plano liso (suelo), o figuradas (reproducen la forma del objeto) en otros casos, debiendo identificarse el tipo de objeto contundente empleado.

3. Arma blanca

Generalmente hay un amedrentamiento para reducir la resistencia, con lesiones que inicialmente pueden ser de advertencia o aberrantes (el arma no alcanza su objetivo pues la víctima se mueve e intenta escapar); al agredir con mayor intensidad, pueden producirse lesiones incisas (por corte) en cuello, con lesión de yugulares, carótidas o tráquea, o en pared torácica anterior de tipo inciso-punzante (el arma blanca lesiona por la punta y por el filo), penetrantes en cavidad torácica, con afectación de

pulmones o corazón. El investigador debe determinar si todas las lesiones se han producido solamente por un arma, y la secuencia de las mismas.

4. *Mixtos*

Pueden emplearse varios métodos sucesivamente, y en el cadáver nos encontraremos signos de los utilizados, debiendo intentarse fijar la secuencia de los mismos, al igual que si se ha tratado de uno o varios agresores.

En los casos de agresiones a niños, y por la desproporción y teniendo en cuenta los datos por edades que hemos mencionado anteriormente, suelen encontrarse desgarros vaginales y rectales graves. Además, pueden encontrarse el resto de signos mencionados en la primera parte de ese apartado.

Cuando estudiamos un cadáver con sospecha de agresión sexual, debe realizarse una toma de muestras completas, tal y como hemos descrito en los supervivientes de las agresiones:

- boca
- vagina
- ano
- ropa interior

En los crímenes que suceden entre homosexuales, suele darse preponderantemente una situación de conflicto de pareja, más que una agresión sexual propiamente; por ello, equivaldría a una situación de celos entre heterosexuales, con gran violencia y agresividad, con múltiples y repetidas lesiones, no siendo infrecuente el ensañamiento.

En la exploración anal, nos podemos encontrar un ano distendido. Este puede ser meramente un fenómeno postmortem, cuando tras la relajación mortal o la desaparición del rigor mortis, se relaja la musculatura, perdiendo totalmente el tono que tiene en vida. En ocasiones encontramos el llamado ano en embudo, su morfología corresponde al objeto que le da nombre, y puede ser meramente una variante anatómica. Si apreciamos signos de irritación crónica, pueden deberse a la existencia de enfermedades inflamatorias. Por todo ello, podemos concluir que los hallazgos a nivel anal solamente deben valorarse cuando existen dilataciones muy marcadas.

CUESTIONARIO A LA VÍCTIMA

Debe utilizarse una sistemática reglada cuando se realiza la entrevista a una persona que denuncia haber sido víctima de una agresión sexual o de una violación. A continuación se relatan las principales cuestiones que deben conocerse, para orientar en la investigación:

1. Tipo de agresión, fecha y hora

Nos orienta sobre en qué zonas del organismo puede haber restos biológicos de la agresión, y qué hallazgos de laboratorio en su caso nos encontraremos.

2. Lugar y número de agresores

Puede haber varios tipos de ADN. Algunos agresores suelen utilizar el mismo sistema repetitivamente y lugares similares que conocen adecuadamente.

3. Daños al agresor

Ante un sospechoso al que la víctima manifieste haberle ocasionado lesiones, deberán coincidir tipo de lesiones y zona de localización.

4. Consumos previos

Pueden condicionar los mecanismos de consentimiento y de defensa, y que el relato posterior de los hechos sea más o menos claro.

5. Menarquia, FUR y ETS

Nos indicarán riesgo de embarazo, y posibilidad de contagio de enfermedades venéreas de forma bidireccional.

6. Último coito consentido

Si ha sido recientemente, puede tener signos de acto sexual y encontrar un ADN que no sea del agresor.

7. Relaciones previas

Ya se mencionó las modificaciones en introito y membrana himenal; si ha sido la primera relación con penetración, habrá signos en himen de data compatible con la violación

8. Embarazos

De interés por las modificaciones morfológicas.

9. Partos

Mismas consideraciones.

10. Abortos

Mismas consideraciones.

11. Si se bañó, irrigó, orinó, defecó o cambió de ropa

Es de gran relevancia la toma precoz de muestras y sin las pérdidas que ocasiona la higiene, tanto la íntima como en la superficie corporal; en cualquier caso, hay que recoger la prenda interior, que probablemente contendrá espermatozoides (a la víctima se le facilita una nueva prenda interior de papel).

SUSTANCIAS EMPLEADAS PARA FAVORECER LA AGRESIÓN

En ocasiones se comprueba o sospecha que la agresión se ha efectuado estando la víctima bajo los efectos de sustancias psicoactivas. Un factor de riesgo es la ingesta voluntaria de alcohol (de uso social muy extendido) y/u otras sustancias de abuso, si bien en ocasiones se trata de administraciones

que pasan inadvertidas a la víctima al ir disueltas en la bebida, por lo que se puede subdividir a los agresores entre los oportunistas (disminución de capacidad defensiva por ingesta voluntaria) y los que actúan con premeditación; sin embargo, no parece haber pruebas de una amplia administración larvada de sustancias (flunitrazepam o gammahidroxibutirato). Según Beynon, de 1.014 casos solamente el 2% es atribuible a la administración involuntaria de sustancias. La toma de muestras para estudio toxicológico realizada en los primeros momentos es de relevancia vital para valorar la posible alteración en la capacidad defensiva en la víctima.

ESTADO ANÍMICO DE LA VÍCTIMA

Las reacciones habituales incluyen:

1. Ansiedad y miedo: al agresor, a testificar, a la soledad, a las relaciones sexuales, a salir a la calle...
2. Depresión, ideación suicida, etc.
3. Disfunciones sexuales y enfermedades psicosomáticas (síntomas de enfermedades inexistentes).

La evolución será peor en los casos en que haya existido otra agresión previa, y si la víctima tenía una predisposición psicótica.

- a) Puede presentarse un ataque de pánico, con miedo, palpitaciones, sensación de asfixia. Si este ataque de pánico persiste, puede evolucionar hacia:
 - Trastorno de angustia, con sensación de muerte inminente, síntomas vegetativos (sudoración, palpitaciones, etc.).
 - Fobia específica a situaciones que le recuerden los hechos sucedidos.
 - Estrés postraumático (flases en los que revive los hechos, dificultad para dormir, pesadillas, etc.).
 - Amnesia disociativa (olvido inconsciente de los hechos).
- b) Síndrome del trauma por violación. Una de las posibilidades evolutivas de estas pacientes es el citado síndrome, consistente en:
 - Aparición de un cuadro de shock emocional. Dura de minutos a horas. Los síntomas son ansiedad, impotencia, aislamiento, sobresalto, recogimiento.
 - Fase de reorganización. Duración de semanas a meses. Trata de integrar lo sucedido. (Tiene sensación de miedo y de ira).
 - Fase de readaptación. Aumento de defensas y vigilancia.

El 30% tardan un año o más en recuperarse, si lo hacen, pudiendo no recuperar nunca la vida sexual ni de relación interpersonal.

Es muy importante un apoyo inmediato y mantenido psicológico en la víctima, evitando sentimientos de culpa.

Hay que tener presente que en las primeras 72 horas repetirá la declaración entre 8-18 veces, por lo que es imprescindible una buena organización sanitario-pericial que lo evite (Lorente).

EL VIOLADOR

155

- a) Diversos estudios han determinado una serie de características habituales, que son:
 - 1. El 50% conoce a la víctima.
 - 2. Se da en todas las clases sociales, pero es más frecuente en las clases socio-económicamente más bajas.
 - 3. La edad preponderante oscila entre 16-30 años.
 - 4. Están casados entre el 30-50%.
 - 5. El 60% de los que están casados tienen hijos.
 - 6. En un 25% de los casos hay antecedentes similares.
- b) Las autojustificaciones que se recogen en los violadores encajan entre las siguientes:
 - 1. Era una mujer seductora.
 - 2. Dice que no pero es que sí.
 - 3. Realmente disfruta con la violación.
 - 4. Las buenas chicas no son violadas.
 - 5. Es una falta leve.
 - 6. Es un derecho masculino.
- c) Los datos estadísticos nos facilitan una serie de pautas de actuación:
 - 1. Predominio de agresiones de mayo a noviembre, generalmente de noche y en sábados.
 - 2. La agresión se realiza en lugares habituales de la víctima.
 - 3. 3 de cada 4 violadores actúan en solitario.
 - 4. En el 80% de los casos se consuma la violación.
 - 5. El 95% de víctimas son mujeres, de 16-25 años de edad, estudiantes y solteras. Inmigrantes y prostitutas son víctimas habituales, en la creencia de que no denunciarán (lo que se denomina vulnerabilidad percibida de la víctima).
 - 6. En muchos casos se realiza la violación por amenazas y sin otras lesiones.

- d) El mecanismo psicopatológico que hace que se produzca la agresión puede ser:
1. Por desplazamiento de la agresión (desea agredir a la esposa o la novia, pero no puede por condicionamientos sociales y arremete contra otra mujer).
 2. Compensatorio (satisface complejos que no sabe resolver por otras vías).
 3. Padece una disfunción sexual y agresiva que no puede satisfacer en una convivencia estándar (sádicos).
 4. Impulsivo (no planifica); se encuentra en una situación de dominio y realiza la violación.
- e) El médico forense y psiquiatra Leopoldo Ortega-Monasterio Gastón estudió 97 casos de agresores sexuales, con las siguientes conclusiones psicopatológicas en los mismos:
1. Trastorno de la personalidad antisocial y distímica: 23 casos.
 2. Trastorno de la personalidad prepsicótica y otras: 12 casos.
 3. Etilismo crónico: 14 casos.
 4. Etilismo agudo: 3 casos.
 5. Neurosis: 14 casos.
 6. Debilidad mental y oligofrenias: 14 casos.
 7. Trastornos orgánicos (demencias): 6 casos.
 8. Psicosis endógenas: 5 casos.
 9. Sin patología: 9 casos.
 10. Con varias patologías: 31 casos.
- f) Agrupando los trastornos mentales y la delictividad, podemos resumir:
1. Trastornos de personalidad (el llamado clásicamente psicópata): conductas sádicas (utiliza más violencia de la necesaria); son reincidentes y realizan también delitos contra la propiedad con violencia.
 2. Neuróticos: utilizan escasa violencia y es infrecuente la reincidencia.
 3. Debilidad mental y oligofrenias (déficits intelectuales): abusos o tentativas de violación, que no pueden consumir por su propia patología.
 4. Demencias y psicosis: ídem.
- g) En cuanto a las posibles modificaciones de la imputabilidad y responsabilidad penal, hay que decir que en las agresiones sexuales y violaciones, la mayoría son imputables. Solamente son inimputables en los casos de demencias y psicosis. Cuanto más «enfermos», menos actividad delictiva sexual (lo que se llama la «camisa de fuerza biológica»).
- h) El pronóstico en los delincuentes sexuales
- El de peor pronóstico es el psicópata, lo que ahora se llama trastorno de personalidad, de comienzo en últimas fases de la infancia y consolida-

ción en la adolescencia, «siempre ha sido así» según los allegados. Tiene un inicio delictivo precoz, empleando una agresividad innecesaria (hace heridas superficiales calculadas, con daño pero sin riesgo vital, para su satisfacción sin eliminar a la víctima), con planificación y con gran duración del hecho (signo de control y de poder). Con el tiempo perfeccionan el método e incrementan las fantasías; cada vez incrementan el daño en la víctima para obtener satisfacción, y llegan a matarla por ese motivo, convirtiéndose en asesinos en serie.

Respecto a la reincidencia, en este momento se encuentran en España 2.400 agresores sexuales en prisión; 400 de ellos están en programas de rehabilitación (16%). En los tratados, la reincidencia disminuye del 18 al 4% (en un seguimiento a 4 años).

Como ejemplo y con triste fama alcanzada, podemos mencionar al violador del chándal.

Actuó a finales de los 80 en Asturias. Fue condenado a 106 años de prisión (por 4 violaciones y 7 tentativas). Salió de prisión a los 12 años. Cometió otras 8 agresiones sexuales en La Coruña (2 violaciones y 6 tentativas). Actuaba de madrugada, en fines de semana, atacando a mujeres solas, de edad próxima a la veintena, en el portal de la casa o en las proximidades, utilizando la violencia física. Al utilizar las mismas rutinas, fue identificado y detenido otra vez, por lo que fue nuevamente condenado.

AGRESIONES A NIÑOS

- a) Las características que suelen reunir los agresores sexuales de menores son:
 1. Suele ser un varón en el 90% de los casos.
 2. Su edad oscila entre los 30 y los 50 años.
 3. Suelen ser reincidentes.
 4. Las víctimas fundamentalmente son niñas.
 5. El padre es el agresor en el 36% de los casos en las niñas.
 6. En los niños el agresor es el tío en el 13,6% de los casos.

En estos dos supuestos, se considera que es más fácil el acceso a la víctima

- b) El tipo de agresión suele ser
 1. Tocamientos (50%).
 2. Masturbación (10%).
 3. Coito (6,5%).
- c) El Consejo de Europa dictaminó en 1998 que 2 millones de niños en el mundo son víctimas de abusos sexuales.
- d) El 60% de prostitutas fueron víctimas en su infancia.

- e) La Academia Americana de Pediatría sentó unos criterios en las agresiones sexuales a menores:
 - 1. De certeza: existe lesión reciente del himen o una enfermedad de transmisión sexual; hay presencia de espermatozoides o de fosfatasa en genitales o región anal.
 - 2. De probabilidad: se aprecia un trastorno del comportamiento y una enfermedad venérea, y el relato del menor es congruente con los hechos.
- f) Datos de la exploración física:
 - 1. Existencia de heridas perineales.
 - 2. Presencia de semen en boca, en genitales o en ropa.
 - 3. Ropa interior rasgada y manchada.
 - 4. Existencia de una enfermedad de transmisión sexual.
 - 5. Presenta dificultades para andar y sentarse.
 - 6. Existencia de enuresis y encopresis (no controla micción ni defecación).
 - 7. Presenta problemas de sueño o alimentación.
 - 8. Aparición de un embarazo.
- g) A nivel de alteraciones de comportamiento, destacan como indicadores: pérdida de apetito, llanto frecuente, miedo a estar solo, temor ante un miembro de la familia, rechazo a un progenitor, cambios bruscos de conducta, resistencia a desvestirse y bañarse, aislamiento social, problemas escolares, regresión (comportamiento más infantil que el que le corresponde por edad, que ya había superado), secretismo, agresividad, autolesiones, etc.
- h) A nivel de signos en la esfera sexual, se puede encontrar: rechazo a las caricias y al contacto físico, conducta seductora, conocimientos sexuales precoces, interés por el comportamiento sexual y agresión sexual a otros menores.
- i) Por parte de psicólogos bien preparados, puede utilizarse el *Test de veracidad del testimonio* (Steller, 1989), que consiste en:
 - 1. Entrevista no inductiva.
 - 2. Análisis del contenido.
 - 3. Peculiaridades del contenido.
 - 4. Motivación.
 - 5. Lista de validez.
- j) Las características psicológicas del agresor son:
 - 1. El 80% fueron víctimas de abusos en su infancia.
 - 2. Precisaron protección, que no se les otorgó.
 - 3. Sufrieron un rechazo en la infancia por sus padres.
 - 4. Pueden emplear una actitud con la víctima más maternal que genital.

5. Suelen utilizar con la víctima el engaño y luego el premio, para posteriormente amenazar (a ellos o a los familiares más queridos).
- k) Se considera que hay dos tipos de abusadores infantiles:
 1. Primarios:
 - Tienen una orientación sexual hacia los niños.
 - Actúan de forma solitaria.
 - Planifican sus actuaciones.
 - No tienen sentimiento de culpa.
 - Reinciden.
 2. Secundarios o situacionales:
 - Suelen ser heterosexuales con conflicto ocasional (mantienen relaciones heterosexuales pobres, y ocasionalmente tienen tentación por menores).
 - Con posterioridad, presentan sentimiento de culpa y vergüenza.
 - Pueden realizar consumos desinhibitorios (alcohol para darse valor).

El vampirismo: se denomina de esta forma a personas que sufrieron una agresión sexual en la infancia o en la adolescencia inicial, que no denunciaron (generalmente por vergüenza, amenaza o por tratarse de un pariente), ni por la que recibió apoyo; por mecanismo de autodefensa minimizó el impacto; con el tiempo, no es capaz de empatizar (relacionarse y ponerse en el lugar de los otros) y comete hechos delictivos similares (el vampiro se convierte en tal tras picadura de otro vampiro).

NORMAS DE ACTUACIÓN ANTE AGRESIONES SEXUALES EN EL MUNICIPIO DE MADRID

El sistema de organización de las guardias en Madrid capital permite que diariamente haya un juzgado de instrucción, el de Plaza de Castilla, en funciones de guardia de incidencias. Esta guardia tiene una duración de 24 horas, y por turnos se presta servicio todos los días del año. Está en funciones de guardia todo el personal adscrito al juzgado, lo que incluye un médico forense. Entre otras competencias, tiene la de recibir denuncias en caso de agresiones sexuales, tomando el magistrado-juez de guardia las iniciativas pertinentes para la investigación del hecho.

Para unificar criterios de actuación, en la Junta de Jueces de Plaza de Castilla de 19/10/07, acta número 26/2007, se adoptaron una serie de resoluciones (derivadas de la Comisión de Violencia Sexual del Observatorio Municipal contra la Violencia de Género, de 29 de enero) para coordinar a los organismos competentes en materia de agresiones sexuales. Entre otros fines, se persigue que la exploración física a la denunciante, tanto desde el punto de vista forense como desde el ginecológico, se realice en un único acto. Por ello, se aprobaron las mencionadas normas, que son:

Ante una agresión sexual se actuará de la siguiente forma:

- La víctima será trasladada al SAM donde se centralizan las denuncias.
- Tras formalizar la denuncia escrita, u ocasionalmente verbal, se la conducirá al Hospital La Paz para ser reconocida por un ginecólogo de guardia y el médico forense.
- Se dará aviso al juzgado de guardia de las diligencias para que lo notifique al forense de guardia, quien se ocupará de que las víctimas:
 1. Sean observadas de sus lesiones y se refleje además su estado emocional.
 2. Se les solicite, en su caso, extracción de sangre y orina a fin de determinar la existencia de sustancias que alteren su conducta o voluntad.
 3. Se les tome muestras vaginales, anales y/o bucales en seco y/o lavado, para su estudio genético y determinación de posibles restos biológicos del agresor, y para su estudio toxicológico en penetraciones con preservativo u otros objetos.
 4. Se valore la resistencia a la agresión y se considere la importancia de recoger restos hallados entre las uñas mediante el recorte de las mismas.
- El forense entregará al indicativo policial, en el momento del reconocimiento, las muestras recogidas para que, preservando la cadena de custodia, sean enviadas a los laboratorios de la policía científica de la DGP y GC, absteniéndose de remitirlas al Instituto Nacional de Toxicología.
- Ante un sospechoso detenido, el SAM lo comunicará al forense de guardia por si se estima pertinente su reconocimiento en los calabozos de la Comisaría de Tetuán, con el fin de detectar posibles lesiones ocasionadas por la víctima, o restos de la misma en cuerpo o uñas.

PROTOCOLO DE RECONOCIMIENTO EN UNA AGRESIÓN SEXUAL

Aunque según el Real Decreto 296/1996, de 23 de febrero, Reglamento del Cuerpo Nacional de Médicos Forenses, y el Real Decreto 386/1996, de 1 de marzo, Reglamento de los Institutos de Medicina Legal, tenemos carácter independiente cuando realizamos nuestras funciones técnicas, de acuerdo con las reglas de la investigación científica que consideremos adecuadas (artículo 1 punto 2), la mayoría de los institutos de medicina legal ha adoptado una serie de protocolos, para facilitar la labor del forense y evitar que en el primer momento quede algún cabo suelto, de difícil subsanación en una segunda fase. Dado que el Instituto de la Comunidad de Madrid todavía no ha entrado en funcionamiento, reseñaremos aquí el Protocolo del IML de Valencia, que es muy amplio y completo.

DATOS GENERALES

Fecha:

Hora:

Lugar de reconocimiento:

Médicos (forense y ginecólogo):

Juzgado de Instrucción nº __ de

Nº de procedimiento:

Existe denuncia previa:

DATOS DE LA VÍCTIMA

Nombre:

Sexo:

Fecha nacimiento:

Estado Civil:

D.N.I:

Lugar de residencia:

Domicilio:

Teléfono de contacto:

Teléfono/s de padres y/o amigos:

Personas que le acompañan:

— Relación con la víctima:

INFORMACIÓN

Explicación de:

- Artículo 191 del Código Penal, puntos 1 y 2: necesidad de denuncia y no detención del proceso por perdón del acusado.
- Reconocimiento médico que se va a realizar.
- Consentimiento informado.

MUJER/NIÑA

Historia ginecológica:

Menarquia:

Fórmula menstrual:

FUR:

GPA:

Actividad sexual previa:

- Desde:
- Cuántas horas antes de la agresión:

Conocido:

ETS:

Uso de anticonceptivos:

Preservativos:

Diafragma/DIU:

Espermicidas:

HOMBRE/Niño

Actividad sexual previa:

— Desde:

— Cuántas horas antes de la agresión:

Conocido:

Uso de lubricantes:

ETS:

DATOS DE LA AGRESIÓN

Fecha:

Hora:

Lugar:

Agresiones sufridas:

Penetración:

— Vaginal.

— Anal.

— Bucal.

— Masturbación.

Eyacuación:

— Zona de eyacuación:

Introducción de objetos:

— Tipo de objeto:

Besos/tocamientos:

AGRESOR

Nº de agresores:

Conocido:

Relación con la víctima:

Datos identificativos:

Empleo de intimidación verbal y/o física:

Arma blanca/de fuego:

Otros:

Defensa por parte víctima:

Provocó lesiones en el agresor:

— Región anatómica:

Actividad posterior del agresor:

VÍCTIMA

Tenía disminuida la conciencia:

Se encuentra afecta de alguna:

Estado emocional:

Actividad posterior a la agresión:

Se ha lavado:

Se ha cambiado de ropa:

Ha tomado medicación:

— Tipo:

— Hora:

EXPLORACIÓN

1. Exploración general

Constitución:

Nutrición:

Estado de las ropas:

— Integridad:

— Manchadas:

2. Exploración psicopatológica

Lenguaje coherente:

Alteración curso pensamiento:

Alteración percepción:

Orientada tiempo y espacio:

Memoria:

Atención conservada:

Capacidad de juicio dentro normalidad:

Dicha alteración psicopatológica impresiona de:

— Consumo de alcohol.

— Consumo drogas (tiempo, tipo y vía).

- Consumo fármacos.
- Cuadro psicótico.
- Déficit intelectual.

EXAMEN DE LAS LESIONES Y TOMA DE MUESTRAS

1. Específicas de agresión sexual

Presencia de pelos:

Presencia de esperma:

Localización oral y perioral (examen):

Senos mamarios (examen):

Localización anal y perianal (examen):

Localización a nivel genital:

- Himeneal (examen):
- Vulva (examen):
- Vagina (examen):
- Horquilla posterior y fosita navicular (examen):

2. Otras lesiones

Lesiones por arma blanca:

Lesiones por arma de fuego:

Lesiones que demuestren el uso de instrumentos:

Lesiones de abordaje sexual:

Lesiones de agarramiento:

Lesiones de defensa:

Lesiones figuradas:

Huellas dentarias:

TOMA DE MUESTRAS A NIVEL GENITAL

Hisopos secos y estériles (3):

- Orificio vaginal (1).
- Canal endocervical (2).

Si el himen se halla intacto: orificio vaginal (2).

Lavado vaginal con suero fisiológico (10 ml).

Extensión en porta para observación en fresco (opcional).

Recogida de pelos:

- Víctima (sí/no).
- Agresor (sí/no).

TOMA DE MUESTRAS DE EXTRAGENITALES

1. Toma de muestras en localización bucal y perioral
 - Hisopos secos y estériles (2):
 - Cara interna incisivos superiores (1).
 - Orofaringe (1).
 - Lavado bucal con suero fisiológico (10 ml).
 - Extensión en porta para observación en fresco (opcional).
2. Toma de muestras en localización anal y perianal
 - Hisopos secos y estériles (2):
 - Canal ano-rectal (1).
 - Esfínter anal (1).
 - Lavado anal con suero fisiológico (10 ml).
 - Extensión en porta para observación en fresco.
3. Toma de muestra de uñas
 - Recogida de material subungueal en tubo seco y estéril.
4. Toma de muestra de manchas en piel
 - Esperma (raspado en frasco estéril y seco). Localización:
 - Sangre (raspado en frasco estéril y seco). Localización:
5. Toma de muestra de sangre
 - Se recogerá 1 tubo de 5 ml con anticoagulante (1 mg EDTA Na sólido/ml sangre).
 - Etiquetado: nombre de la víctima y fecha.
 - Podrá solicitarse: drogas y/o alcohol. En este supuesto deberá recogerse otro tubo con 5 ml de sangre a ser posible con 50 mg de oxalato potásico/50 mg de fluoruro sódico.
6. Toma de muestra de orina
 - Se recogerá en frasco de orina estéril, sin conservante, y deberá hallarse refrigerado.
 - Etiquetado: nombre de la víctima y fecha.
 - Se solicitará: drogas y/o embarazo.
7. Recogida de ropa

La ropa deberá estar seca e introducirse en un envoltorio individual y transpirable.

 - Ropa interior: braga, sujetador, calzoncillo y/o camiseta.
 - Ropa de vestir: chaqueta, camisa, pantalón y otros.
 - Etiquetado: nombre.
 - Tipo de prenda:
 - Fecha:
 - Lugar de recogida:

CADENA DE CUSTODIA DE LAS MUESTRAS RECOGIDAS

Muestras recogidas por el médico forense:

- Remitidas a:
- Método de transporte y medios de conservación:

Muestras recogidas por el médico asistencial hospitalario:

Recomendaciones:

**RECOGIDA DE MUESTRAS PARA ENFERMEDADES
DE TRANSMISIÓN SEXUAL**

Deberán ser recogidas y remitidas preferentemente por personal facultativo al centro hospitalario de referencia.

Hisopos vaginales endocervicales, anales, faríngeos (2).

Ambos hisopos irán en medio de mantenimiento.

ACTITUD TERAPÉUTICA

Tratamiento profiláctico:

- Toxoide tetánico.
- ETS.
- Anticoncepción.

Tratamiento sintomático:

Derivación a centro asistencial:

Derivación a servicios sociales:

1. NORMAS DE UTILIZACIÓN

Se llevará a cabo de forma preferente en un centro hospitalario y en colaboración con un médico especialista en ginecología. La exploración se complementará con la lectura, en caso de existir, de la denuncia de los hechos por parte de la víctima ante el organismo competente. En el supuesto caso de objetivarse minusvalía física y/o psíquica se recomienda solicitar a los familiares informes médicos y antecedentes.

1.1 Datos generales de la víctima e información

Son importantes a la hora de poder remitir el informe al órgano jurisdiccional ya que sitúa el lugar del reconocimiento, quién conoce el expediente y aquellos datos necesarios en relación a la víctima para que en el caso de no poderla localizar en el domicilio facilitado, pueda averiguarse su paradero.

La información de lo que se va a realizar y su trascendencia jurídica puede, en algunas ocasiones, disuadir a la víctima en aquellos casos de «distorsión de la realidad» por miedo a un embarazo.

1.2 Exploración general

En ella se hará constar el aspecto de la víctima su constitución y nutrición.

1.3 Historia ginecológica

Va encaminada a conocer antecedentes ginecológicos para correlacionar con los hallazgos de la exploración y permite obtener información para encaminar la investigación analítica.

1.4 Datos de la agresión

Nos indicará en qué zona anatómica deberemos centrarnos en la exploración y recogida de muestras y determinará la gravedad de los hechos.

1.5 Exploración psicopatológica

Se valorará aquel o aquellos estados que puedan disminuir de algún modo su conciencia y/o voluntad.

En el caso de consumo de drogas y/o alcohol se valorará la conveniencia o no de recoger muestras de sangre, o en su defecto orina, teniendo en cuenta las limitaciones interpretativas de los resultados analíticos de esta última.

1.6 Examen de las lesiones

a) Específicas de agresión sexual:

1. Localización oral y perioral: valorar la integridad de los pliegues mucosos que existen entre los alvéolos dentarios y la mucosa labial interna. Objetivar lesiones traumáticas en labios.
2. Senos mamarios: la exploración es similar a la de otra región corporal. Las lesiones a ese nivel pueden tener una connotación sexual específica.
3. Localización anal y perianal: valorar lesiones mucosas y afectación del esfínter interno.
4. Lesiones himeneales: aparecerán en aquellas mujeres que no hayan tenido previamente relaciones sexuales o no hayan parido vía vaginal. Se especificarán los desgarros del himen, posición horaria, antigüedad de los mismos, existencia de hematomas en el seno de las carúnculas himeneales y sangrado activo.
5. Lesiones en vulva, vagina, horquilla posterior y fosita navicular: valorar lesiones de continuidad, hematomas y equimosis.

b) Otras lesiones:

1. Las lesiones por arma blanca, arma de fuego o aquellas que demuestren el uso de instrumentos: además de la diferente gravedad que puedan ocasionar, demostrarán la condición de la aceptación de la

violencia o intimidación de la agresión sexual. En su uso suelen verse con frecuencia pequeños cortes a nivel del cuello, región infraclavicular, paraesternal o íntermamario.

2. Lesiones de abordaje sexual: localizadas en cara interna y anterior de los muslos y en glúteos. Generalmente son erosiones lineales, superficiales y paralelas provocadas por las uñas de los dedos.
3. Lesiones de agarramiento: localizadas en cuello, muñecas, cara interna y superior de los brazos, flexura de los codos y tobillos. Valorar hematomas y su forma y localización.
4. Lesiones de defensa: situadas en cara externa del antebrazo, dorso de la mano, cara palmar de la mano y en los nudillos.
5. Lesiones figuradas: entendiéndose por aquellas las que indican apoyo violento sobre terreno irregular o bien de arrastre. Son frecuentes en codos, manos y glúteos.
6. Huellas dentarias: en ellas además de la localización deberemos realizar una valoración antropométrica (hacer siempre foto).

1.7 Toma de muestras

Con independencia del laboratorio donde se vayan a realizar las determinaciones analíticas, se seguirán las directrices dadas por el Instituto Nacional de Toxicología recogidas en la Orden de 8 de noviembre de 1996 por la que se aprueban las normas para la preparación y remisión de muestras objeto de análisis por dicho Instituto.

1.8 Cadena de custodia de las muestras recogidas

Se especificarán aquellas muestras que recoja el médico forense y las que se queden en el medio hospitalario para la valoración por su médico asistencial de enfermedades de transmisión sexual, infecto-contagiosas, gestación y riesgo neonatal en los casos de continuidad del embarazo, etc.

Se indicará el laboratorio adonde son destinadas las muestras para su análisis, precinto, medio de conservación y de transporte.

2. RECOMENDACIONES

- a) Se valorará por parte del médico asistencial el tratamiento médico a instaurar.
- b) De forma conjunta con el médico forense se objetivará la necesidad de derivación a los servicios sociales y/o centro asistencial.
- c) Deberá cubrirse con prontitud la asistencia psicológica y/o psiquiátrica por parte del centro de salud mental de referencia a fin de valorar y tratar posibles secuelas psíquicas.

3. ESQUEMAS PARA REFLEJAR LESIONES

El explorador dibujará el tipo y lugar de las lesiones.

- Figura 2: se aprecian labios mayores y menores, clítoris, orificio uretras, himen e introito íntegro.
- Figura 3: imagen externa del organismo (para plano anterior y posterior).



Figura 2. Esquema para examen ginecológico externo
(Tomado del Protocolo de asistencia médico legal para las víctimas de agresiones sexuales. OMS. Ginebra, 2003)

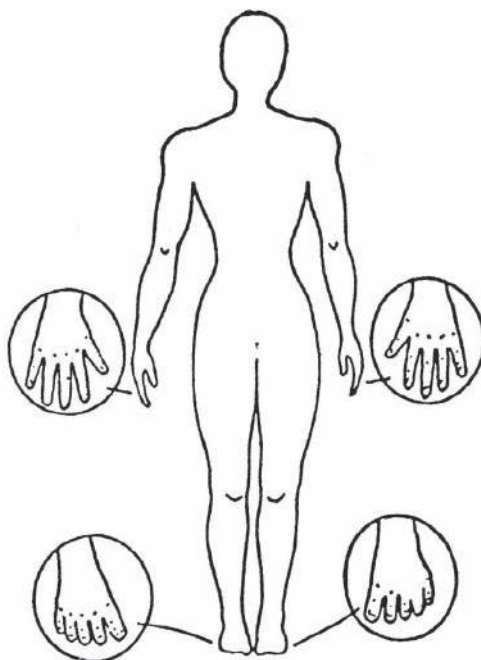


Figura 3. Esquema para examen general
(Tomado de la Clínica Médico-Forense de Madrid)

6

ESTUDIO FORENSE DE FIBRAS

María Dolores Álvarez Menéndez

Doctora en Veterinaria

Julián Mateos Martín

Doctor en Ciencias Ambientales

FIBRAS

Las fibras son estructuras largas y delgadas, tienen una longitud muy superior a su diámetro (que no suele ser superior a 0,05 cm), macroscópicamente homogéneas, flexibles y su propósito principal es la creación de tejidos. La temperatura de transición vítrea (T_g) y su punto de fusión son muy importantes en las fibras; una T_g demasiado alta dificulta el estiramiento y, por lo tanto, la orientación de la fibra, y si es demasiado baja, la orientación no se mantiene a temperatura ambiente.

172

PROPIEDADES

Las propiedades mecánicas de las fibras, los hilados, las cuerdas y los tejidos son en muchos casos los que determinan el valor comercial del material, aunque a veces tiene mayor importancia el brillo y la facilidad para teñirse.

Entre las pruebas más comunes tenemos: prueba dinámica (tiempo de deformación individual en tracción por segundo), pruebas normales (tiempo de deformación de aproximadamente 100 segundos), pruebas a larga duración o estudio de deformación plástica, que dura muchas horas e incluso días, y por último el módulo de elasticidad que en una cuerda representa la rigidez y mide la resistencia inicial al alargamiento.

1. LONGITUD

Existen dos tipos de fibras en lo que se refiere a su longitud y a su distribución longitudinal: filamentos continuos (rayón, seda, nailon y acrílicas) y fibras discontinuas o hebras (algodón, lana y fibras sintéticas en hebra). Las fibras artificiales en forma de hebras tienen longitudes uniformes y se cortan en filamentos de 6-20 cm. Todas las fibras naturales se encuentran de forma discontinua, exceptuando la seda.

La longitud de las fibras se expresa en milímetros o en pulgadas; la longitud de la fibra es un parámetro muy importante ya que hay muchos factores que influyen en la longitud y éstos varían de una fibra a otra, por ello lo común es referirse al valor medio (media estadística extraída de examinar una muestra representativa) y al coeficiente de variabilidad (parámetro estadístico de la distribución de las longitudes). La longitud es importante, ya que determina el proceso de hilatura a aplicar.

Las fibras químicas se obtienen inicialmente en forma de filamento continuo, pero se puede convertir en fibras discontinuas cortando o desgarrando la longitud deseada. El corte puede ser recto o variable.

2. FINURA

Es la medida de su grosor y está relacionado con el diámetro aparente de la fibra, ya que no es constante ni regular.

La finura determina la calidad y el precio de la fibra y se expresa en micras:

$$1 \text{ micra} = 0,001 \text{ mm} = 10^{-6} \text{ m}$$

En las fibras químicas, la finura se expresa en función de la masa lineal (esta masa se expresa en tex, que indica el peso en gramos de 1.000 m de filamento), ya que existe una relación bastante directa entre su peso por unidad de longitud y su grosor.

173

3. FORMA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Es una propiedad geométrica que influye en otras propiedades como el brillo, volumen, tacto, rigidez de la torsión, etc.

Se distinguen tres zonas en la sección transversal de una fibra natural: piel o cutícula, cuerpo principal y núcleo (hueco o no).

La sección en las fibras químicas depende de la forma de la hilera por la que se extruye (Figura 1), el método de hilatura empleado y las condiciones de hilatura (presión, temperatura...).



Figura 1. Secciones de las fibras hiladas

4. TERMICIDAD

El grado en el que un material textil abriga, esto es: resguarda del frío. Depende de la conductividad calorífica, capacidad calorífica, aspereza de la superficie y capacidad para confinar aire y otros gases. La lana, seda, fibras de proteínas y orlón son en este aspecto superiores a todas las demás fibras naturales y sintéticas.

Otras propiedades térmicas importantes de los materiales fibrosos son el punto de adherencia, el punto de reblandecimiento o de fusión y la fragilidad en frío. Los puntos de adherencia de algodón, rayón viscosa, lana, seda, nailon y orlón están bastante por encima de 200 °C y no provocan muchas dificultades en el planchado.

El punto de fusión de un buen polímero para la formación de fibras debe ser bastante superior a 300 °C. La mayoría de las fibras, con la posible excepción del *vinylon* y el acetato de celulosa, son lo suficientemente flexibles a menos de 50 °C.

5. HIGROSCOPICIDAD

Una propiedad importante de las fibras textiles es la absorción de agua, en equilibrio con la atmósfera de humedad relativa y una temperatura dada. Algunos materiales como el nailon y el orlón tienen una afinidad bastante baja para el agua. Las propiedades eléctricas más importantes de las fibras están asociadas con la absorción de agua.

6. OTRAS PROPIEDADES

Las buenas fibras textiles tienen que resistir el ataque de los ácidos y las bases de concentración moderada hasta temperaturas de 60-80 °C; no deben ser atacadas por los disolventes orgánicos, como hidrocarburos, alcoholes, ésteres y cetonas; deben resistir la acción de la luz en presencia de oxígeno y agua, así como a la acción de enzimas, moho y bacterias.

Las fibras hechas de acetato de celulosa y de copolímeros de cloruro de vinilo con acetato de vinilo y acrilonitrilo muestran excelente resistencia a los ácidos, las enzimas y los mohos y no ocasionan molestias en la piel, pero muchos disolventes orgánicos hacen que se hinchen o incluso los disuelven a temperaturas elevadas. Son atacados por los álcalis y por el calor se debilitan y cambian de color.

Las fibras de nailon y acrílicas resisten muy bien los disolventes orgánicos normales y muestran muy buena resistencia en el uso al aire libre, pero son difíciles de teñir. Por consiguiente, parece que los representantes de la clase de poliésteres, poliamidas, poliuretanos y poliacrilonitrilos reúnen la mayoría de las propiedades químicas que se consideran importantes para una fibra textil.

CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS

Las fibras pueden dividirse (Tabla 1) en las siguientes clases:

NATURALES	VEGETALES	Fruto	Algodón Fibra de coco Miraguano o kapok	
		Hojas	Abacá o cáñamo de Manila Sisal	
		Tallo	Cáñamo Esparto Lino Ramio Retama Yute	
	ANIMALES	Faneras	Lana	
			Pelo	Alpaca Mohair Angora Cachemira Camello
		Secreciones	Seda	
QUÍMICAS	ARTIFICIALES	MINERALES	Amianto (en desuso)	
		CELULÓSICAS	Celulosa regenerada	Rayón (viscosa) Cuproamoniaca Fibrana Modal
			Éster de celulosa	Acetato Triacetato
	ARTIFICIALES	PROTEICAS	Alginato Fibroína	
		INORGÁNICAS	Vidrio Cobre Oro Plata	
			Fluorofibra Polietileno Polipropileno	
			Acrílica Clorofibra Cloruro de polivinilo Modacrílica Saran Vinilal Vinyon	
	SINTÉTICAS	POLIURETANO	Elastano	
		POLIAMIDA	Nailon Perlón Aramidas (Kevlar y Nomex)	
		POLIÉSTER	Poliéster	
		POLIISOPRENO	Elastodieno	

Tabla 1. Principales fibras textiles

FIBRAS NATURALES

Son las obtenidas de la naturaleza (de una planta o un animal) mediante procedimientos físicos o mecánicos. La mayor parte de estas fibras se utiliza en telas textiles, aunque las fibras de las plantas como tales se utilizan también para cordelería.

Dentro de las fibras naturales están las de origen vegetal, de origen animal y de origen mineral.

176

1. FIBRAS VEGETALES

Las fibras de origen vegetal se obtienen de las plantas. Sus constituyentes principales son la celulosa y la lignina. Esta última es una forma modificada de la primera y su existencia en mayor o menor cantidad le da ciertas características a la fibra vegetal en particular.

Algunas fibras son de celulosa pura como el algodón, otras con gran cantidad de lignina, como el yute. Su aspecto microscópico varía y sirve también, como sus características reacciones químicas, para la diferenciación.

Las fibras vegetales, a diferencia de las proteínas de las fibras de origen animal, son resistentes a los álcalis. Estas fibras son asimismo resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos, pero los ácidos inorgánicos fuertes las destruyen.

La utilización incorrecta de la mayoría de los blanqueadores puede debilitarlas o destruirlas.

Desde el punto de vista de su origen, las fibras vegetales se clasifican en tres tipos principales: fibras de obtenidas de frutos o semillas, obtenidas de las hojas y fibras procedentes de los tallos.

1.1 Fibras procedentes de frutos o semillas

Algodón

La planta de algodón (*Gossypium herbaceum*) pertenece a la familia de las malváceas y crece principalmente en climas cálidos, sin embargo, su cultivo está bastante extendido en climas templados.

Se presenta como planta herbácea, arbusto o árbol, y se cultiva, en grandes plantaciones, en América del Norte, América Central y Sudamérica, en China, India Oriental, Egipto, Turquía y también en Europa, aunque en extensiones muy reducidas.



Figura 2. Flor de algodón (izquierda) y fibras (derecha)

Del estudio microscópico de la fibra de algodón se deduce que está formada por células vegetales tubulares aplanadas, de cantos redondeados, retorcidas en forma de tirabuzón (Figura 2). Toman este último aspecto al secarse toda la humedad contenida en el espacio tubular. El color de estas fibras es blanco, generalmente; sin embargo, hay también fibras amarillo oscuras (algodón de Nankin, China, Indias Orientales). Estas fibras tienen 15-50 mm de largo y 0,014-0,026 mm de diámetro. Cualidades muy apreciadas del algodón son su mayor o menor brillo, su mayor elasticidad y, especialmente, la limpieza alcanzada, muy apreciada para la hilatura.

Otras fibras procedentes de frutos o semillas son la fibra de coco (*Cocus nucifera*), que procede de la capa cortical de los frutos de este vegetal, y el miraguano o kapok procedente de los frutos de *Ceiba pentandra* de Java y varias especies del género *Bombax* que se cultivan en Sri Lanka (antiguo Ceilán).

1.2 Fibras procedentes de hojas

Sisal

La fibra de sisal se extrae de las hojas de *Agave sisalina*, de la familia de las amarilidáceas. Esta fibra es blanca y dura, con una longitud de 2-5 mm y una sección poligonal de 20-30 μm . Está formada por un 75% de celulosa, un 6% de lignina y un 18% de pentosana.

La extracción se lleva a cabo de forma primitiva, mediante el secado de la hoja al sol, tras lo cual se somete a operaciones de magullamiento, batido, raspado y rastrillado. Se utiliza para la confección de tejidos bastos, como sacos y esteras, y en la confección de cepillos, siendo su principal aplicación la fabricación de cuerdas para la industria y para aplicaciones agrícolas.

Otra fibra extraída de hojas es el cáñamo de Manila o abacá, de las hojas de *Musa textilis*, de la familia de las musáceas, que se cultiva principalmente en Filipinas.

1.3 Fibras procedentes de tallos

a) Cáñamo

El cáñamo se obtiene de los tallos de *Cannabis sativa*, de la familia de las urticáceas (Figura 3). Hay plantas masculinas y femeninas; las primeras alcanzan un desarrollo de 1,8-2,4 m de altura, las segundas son más pequeñas. Crece mejor en climas templados (España, Italia y Francia); sin embargo, también se cultiva en regiones septentrionales (Rusia, Alemania y Austria).

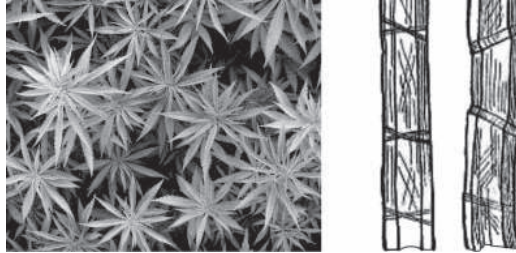


Figura 3. Cáñamo (izquierda) y fibras de cáñamo (derecha)

Debido a su gran resistencia, la fibra textil que se obtiene del cáñamo se emplea para telas de embalaje, velamen, cordeles, cuerdas y cables, pero también en la confección de tejidos y telas bastas, sacos, alpargatas, mangueras de incendio y otros muchos utensilios.

b) Esparto

La fibra del esparto se extrae de las hojas de *Stipa tenacissima*. Las hojas de esparto, que llegan a alcanzar longitudes de 1 m, se secan al sol y se arrollan sobre su eje longitudinal. Los filamentos del esparto se utilizan en la fabricación de esteras y cepillos, aunque su principal aplicación es como materia prima en la fabricación de papel.

c) Lino

De las numerosas variedades de plantas de lino, en general no se utiliza más que el *Linum usitatissimum*. La fibra es conocida también como «hilo» y es una de las fibras de uso más antiguo.



Figura 4. *Linum usitatissimum*, planta (izquierda) y fibras (derecha)

Las fibras de lino examinadas al microscopio se presentan en largos tubitos, de extremos puntiagudos y con pequeñas grietas transversales, divididos en trozos celulares que algunas veces parecen superpuestos. A lo largo de la fibra se distingue en su centro una doble línea oscura que representa el tubito central interior (Figura 4). El color de la fibra varía mucho, dominando, sin embargo, los tonos claros, especialmente el dorado pálido, amarillo y verde plateado. Su resistencia es mayor que la del algodón, pero su elasticidad es menor. Las buenas clases de lino tienen bastante brillo.

d) *Yute*

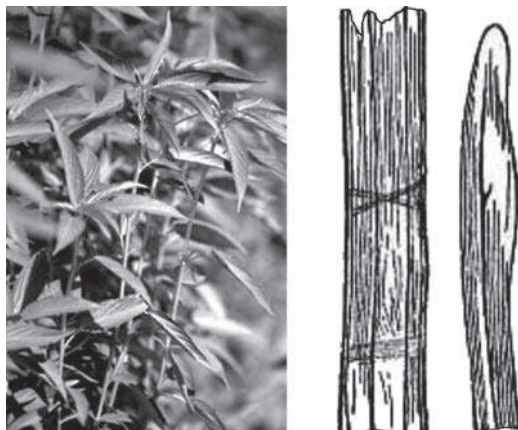


Figura 5. Yute, planta (izquierda) y fibras (derecha)

Las fibras de yute proceden de los tallos de las plantas del mismo nombre, de la familia de las tiliáceas (*Corchorus capsularis*) (Figura 5). Las fibras más empleadas son blancas pero oscurecen con el tiempo. Crece en los países cálidos de Asia, especialmente en la India, donde alcanza una altura de 3-5 m. El yute resiste mal la humedad combinada con el calor, ya que es atacado por microorganismos. El yute es muy resistente, se utiliza para la fabricación de telas y cuerdas bastas, y para embalajes y esteras. El yute se puede teñir en brillantes colores, ya que admite y fija bien los colorantes derivados del alquitrán.

2. FIBRAS DE ORIGEN ANIMAL

El segundo tipo de fibras naturales proceden de los animales y pueden tener su origen en estructuras epidérmicas (faneras), en secreciones con fines de protección (capullos) o como auxiliares para la captura de presas (telarañas).

Desde el punto de vista químico, las fibras de origen animal son proteínas resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos. También resisten, en determinadas condiciones, la acción de ciertos ácidos minerales como el ácido sulfú-

rico (H_2SO_4). Por el contrario, las bases o álcalis poco agresivos pueden dañar las fibras proteínicas y los álcalis fuertes, como el hidróxido de sodio (NaOH), pueden disolverlas por completo. Los blanqueadores que contienen cloro también pueden dañarlas (el hipoclorito líquido no debe usarse nunca con lana ni seda). Si se utilizan sin diluir, dañan las fibras e incluso pueden disolverlas por completo.

2.1 Faneras

a) Lana

El nombre genérico de pelo abarca los pelos de todos los animales que se pueden aprovechar en la industria textil, mientras que el nombre de lana se refiere sólo a las fibras del pelo de jarra de la oveja. Las fibras de la lana no son continuas y si están destinadas a la fabricación de productos textiles deben hilarse. También pueden convertirse en fieltro.

En la composición química apenas se diferencian los pelos de las lanas, pero no así en su estructura física. La lana es rizada, el pelo liso; en el animal, la lana forma vellones o pelotas de fibras, el pelo, en cambio, cae suelto.

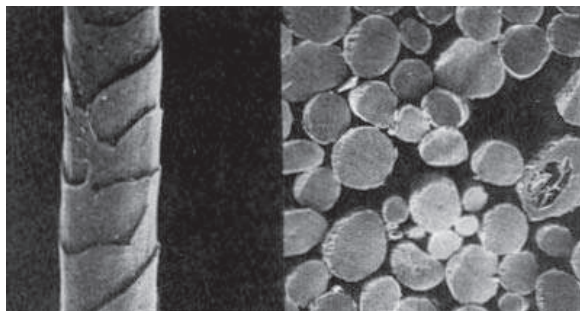


Figura 6. Micrografía de fibras de lana (izquierda) y su sección (derecha)

El pelo más utilizado en la fabricación de tejidos es la lana de oveja (Figura 6). La lana de la oveja salvaje forma una capa corta y suave (pelo de jarra), protegida por otros pelos más largos y gruesos (pelo de guarda), prácticamente inexistentes en las razas domésticas. Las ovejas criadas para la obtención de lana tienen ésta mucho más larga. Todas estas fibras poseen una capa de escamas superpuestas, cuya forma y tamaño varía de una especie a otra. En muchas variedades de ovejas estas escamas son muy pronunciadas. Las fibras de lana que no son suficientemente suaves, pero cuentan con su ondulación natural, forman hilos que retienen el aire y se pueden usar para fabricar materiales aislantes.

La lana es ampliamente utilizada en diferentes campos. El más importante es el terreno de las prendas de vestir, tanto femeninas como

masculinas. Asimismo, es muy frecuente la mezcla de la lana con fibras químicas (poliéster, poliamida, acrílica...)

b) Pelo

También de la llama, la alpaca, la vicuña, las cabras de Angora y Cachemira, el conejo de Angora y el camello se obtiene pelo para fabricar tejidos. Su caza excesiva ha colocado a la vicuña, originaria de los Andes, en peligro de extinción. Las fibras del pelo de algunos animales de los que por lo general sólo se utilizan sus pieles, como el visón y el castor, se mezclan a veces con otros tipos de pelo para fabricar hilos de lujo. El pelo de los caballos y de las vacas se usa para fabricar fieltro, aunque no es de la misma calidad que el que se obtiene a partir de la lana y, sobre todo, del pelo de conejo (doméstico o salvaje), liebre o castor, que también se hilan para utilizarlos en tapicería y en otras aplicaciones que requieren una larga duración.

2.2 Secreciones

Los insectos sericígenos, principalmente la larva del lepidóptero *Bombix mori* (gusano de seda) (Figuras 7 y 8), hilan un capullo protector secretando una fibra continua (seda) para proteger la pupa durante el proceso de la metamorfosis. Su obtención se inicia con la cría del gusano de seda o sericultura, de la que se obtienen los capullos que, tratados con agua caliente, pierden la sustancia adhesiva que aglutina las fibras individuales (sericina) y permiten el hilado elemental que da lugar a la seda cruda.



Figura 7. Gusano de seda junto a un capullo

También es posible la obtención de seda de varias especies de arañas, de composición muy similar y de resistencia incluso superior a la del gusano de seda, pero presenta el inconveniente de que las arañas son más difíciles de criar al ser depredadores territoriales y por estar reciclando la seda continuamente,

ingieren la seda vieja para aprovechar las valiosas proteínas que contiene en la producción de seda nueva.

Seda

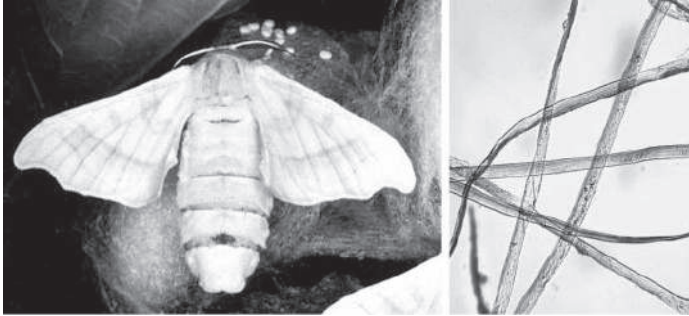


Figura 8. *Bombix mori* (izquierda) y micrografía de fibras de seda (derecha)

La seda (Figura 8) es una de las sustancias más resistentes conocidas. Soporta 3-4 veces más tensión que una fibra de acero del mismo diámetro y pesa aproximadamente la octava parte. También es mucho más flexible y puede doblarse repetidamente en ángulos mucho más agudos que el acero sin que se quiebre ni pierda sus cualidades. No es difícil imaginar las aplicaciones que puede llegar a tener.

El componente principal de la seda es una proteína, la fibroína. Son los únicos filamentos de origen natural, que alcanzan normalmente una longitud superior a los 1.000 m y 8-15 micras de diámetro. Varios filamentos se unen formando un hilo. Sin embargo, la seda para la fabricación de hilados se produce y se utiliza en filamentos más cortos.

Recientemente, mediante ingeniería genética, se han conseguido cabras transgénicas con algunos de los genes productores de seda insertados en su genoma. Producen fibroína en la leche que puede ser separada y utilizada, pero carece de la longitud de la obtenida normalmente y su resistencia es bastante menor.

3. FIBRAS MINERALES

Estas fibras se forman directamente por el proceso mineral natural, o bien por fragmentación de cristales más grandes. Las más frecuentes son: amianto, asbesto, wollastonita, attapulgita, sepiolita y zeolita. De ellas, la única que se ha utilizado ampliamente debido a sus propiedades aislantes e ignífugas es el amianto, pero se ha descubierto que es cancerígena, por lo que las legislaciones de casi todos los países han prohibido su empleo, y actualmente está en desuso.

FIBRAS QUÍMICAS

Se obtienen mediante procesos químicos y pueden partir de sustancias naturales, en cuyo caso se denominan fibras artificiales, o de productos sintetizados no existentes en la naturaleza, en cuyo caso se denominan fibras sintéticas.

FIBRAS ARTIFICIALES

Las fibras artificiales se fabrican a partir de la transformación química de productos naturales. Pueden fabricarse a partir de celulosa, de ciertas proteínas o de sustancias inorgánicas.

183

1. FIBRAS CELULÓSICAS

Las fibras químicas compuestas de celulosa regenerada se conocen genéricamente como rayones. Se encuentran principalmente 4 tipos: el rayón viscosa, la fibrana, el rayón cupro o cuproamoniaco y el rayón modal.

Las fibras textiles artificiales poseen propiedades semejantes a las de las fibras naturales. Aunque pueden obtenerse a partir de proteínas vegetales presentes en determinadas plantas (cacahuete, maíz o soja), generalmente derivan de la celulosa y de la caseína. La celulosa, un hidrato de carbono complejo, es el componente básico de las paredes de las células vegetales. De color blanco, sin olor ni sabor, sus aplicaciones industriales no se reducen al campo textil; se emplea, asimismo, en la fabricación de papel, plásticos o explosivos.

1.1 Celulosa regenerada

Rayón (viscosa)

La primera producción comercial de fibra de rayón fue en 1910, por la Sociedad Americana de Viscosa en los Estados Unidos. Mediante el uso de 2 productos químicos y técnicas de fabricación, se desarrollaron dos tipos básicos de rayón: el rayón viscosa y el rayón cuproamoniaco.

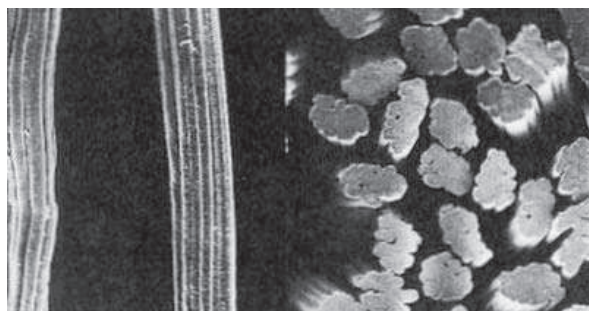


Figura 9. Micrografía de fibras de rayón (izquierda) y su sección (derecha)

El rayón o viscosa (Figura 9) es una fibra de celulosa previamente solubilizada y posteriormente regenerada. Es una fibra muy versátil y tiene las mismas propiedades en cuanto a comodidad de uso que otras fibras naturales, pudiendo imitar el tacto de la seda, la lana, el algodón o el lino. Las fibras pueden teñirse fácilmente de otros colores. Los tejidos de rayón son suaves, ligeros, frescos, cómodos y muy absorbentes, pero no aíslan el cuerpo, permitiendo la transpiración. Por ello son ideales para climas calurosos y húmedos.

La fibra se vendía como «seda artificial» hasta que en 1924 se adoptó el nombre rayón, siendo conocida en Europa además por el nombre de viscosa. Hasta los años 30 sólo se fabricaba rayón en forma de hilo, hasta que se descubrió que las fibras rotas que se desechaban en la producción de hilo valían para ser entretejidas (en este caso se denomina fibrana).

La resistencia del rayón normal con el paso del tiempo es baja, especialmente si se moja; además posee la menor recuperación elástica de todas las fibras.

1.2 Ésteres de celulosa

a) Acetato de celulosa

La fibra de acetato de celulosa, en la cual entre el 92-74% de los grupos hidroxilos están acetilados, es un compuesto formado a partir de ácido acético con una base. Los hilos son continuos a base de acetato de celulosa ya que este acetato disuelto en acetona forma un líquido grueso y siruposo, del que se extraen luego los hilos. Los hilos de acetato son fibras discontinuas de idéntica composición química. Se obtienen principalmente telas de satén, tafetán, terciopelo, etc. Hilada conjuntamente con la seda produce tejidos suntuosos, si se mezcla con cualquier fibra artificial o sintética confiere al hilado un tacto suave y cálido. Es sensible al calor y exige precauciones para su planchado. Asimismo debe ser teñido con anilinas o especiales. Acepta admirablemente las tinturas combinadas, presentándose por eso el teñido multicolor.

b) Triacetato de celulosa

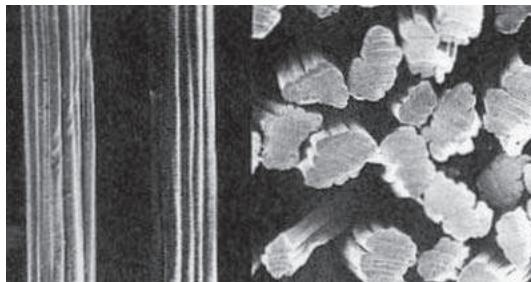


Figura 10. Micrografía de fibras de triacetato (izquierda) y su sección (derecha)

La fibra de acetato de celulosa (Figura 10), donde al menos el 92% de los grupos hidroxilos están acetilados, presenta mejores propiedades que el acetato en absorción de humedad, resistencia a las arrugas, facilidad de tinte y tiempo de secado, por lo que se ha hecho más popular como fibra textil. Los acetatos de celulosa son también comunes en los filtros de cigarrillos.

2. FIBRAS PROTEICAS

Alginato

El alginato es una sustancia química purificada obtenida de algas marinas pardas, entre las que se encuentran fundamentalmente en la *Laminaria hyperborea*, que prolifera en las costas de Noruega, donde incluso se recoge en forma mecanizada en aguas poco profundas, y que existe también en el Cantábrico. También se obtiene de la *Laminaria digitata*, presente en el Cantábrico; de la *Laminaria japonica*, que se cultiva en China y Japón; de la *Macrocystis pyrifera*, de aguas del Pacífico; y de algunas especies de los géneros *Lessonia*, *Ecklonia*, *Durvillaea* y *Ascophyllum*. Estas sustancias corresponden a polímeros orgánicos derivados del ácido algínico.

Su uso es muy variado, no se limita a la obtención de fibras. Existe una gran gama de empresas que utilizan esta sustancia como espesante para cremas, detergentes, tintas de impresión textil y una gran variedad de productos. Es un material ampliamente utilizado en odontología para obtener impresiones de los dientes y los tejidos blandos adyacentes.

3. FIBRAS INORGÁNICAS

La fibra de vidrio es la única fibra de origen inorgánico (mineral) que se utiliza tejida a gran escala.

3.1 Fibras de vidrio

El vidrio fluye con facilidad cuando está fundido y puede estirarse en filamentos cuya delgadez sólo está limitada por la velocidad de la hilatura. En las operaciones comerciales, el vidrio fundido se mantiene a una temperatura uniforme en un tanque cuyo fondo tiene una hilera con una gran cantidad de pequeños orificios. El vidrio fundido fluye por estos orificios formando corrientes delgadas que se estiran en filamentos de diámetro del orden de 3,8-7,6 micras (el diámetro promedio de las fibras orgánicas más finas es de casi el doble), se recubren con un lubricante, se retuercen en conjunto para formar hilos y se embobinan. Una propiedad inherente del vidrio es la tendencia de sus superficies no protegidas a destruirse por fricción mutua, aunque la acción mecánica sea muy leve.

3.2 Fibras metálicas

No todos los metales son adecuados para la producción de hilos de la suficiente finura. Los 3 más adecuados son cobre, plata y oro. En todo caso, su resistencia y flexibilidad no son adecuadas para obtener un tejido práctico, por lo que únicamente se emplean para enriquecer tejidos de alto precio entretejiéndolos con otras fibras para aportar brillo y aspecto suntuoso.

FIBRAS SINTÉTICAS

Las fibras sintéticas se elaboran mediante síntesis químicas, a través de un proceso denominado polimerización.

La elaboración de fibras sintéticas textiles se realiza a partir de materias primas que se encuentran con relativa facilidad y son, en términos generales, poco costosas: carbón, alquitrán, amoníaco, petróleo, además de subproductos derivados de procesos industriales. Las operaciones químicas realizadas con estos materiales permiten obtener resinas sintéticas que, tras su hilado y solidificación, resultan elásticas, ligeras y muy resistentes tanto al desgaste como a la presencia de ácidos y otros agentes externos. La incorporación de un colorante al polímero permite teñir el material antes de su hilado, lo que se traduce en un óptimo nivel de estabilidad cromática en la fibra, que, además de no desteñir, elimina la necesidad de recurrir a posteriores operaciones de fijado del tinte.

1. FIBRAS DE POLIOLEFINAS

1.1 Fluorofibras (PTF)

Son fibras compuestas por macromoléculas lineales de monómeros fluorocarbonados alifáticos.

Características generales:

- Textiles exclusivos para usos técnicos.
- No arden. Tienen buena resistencia a la abrasión.
- Son inertes químicamente.
- No absorben agua.
- Resisten bien la luz y la intemperie.

1.2 Polietileno

El polietileno (PE) es un polímero de cadena lineal no ramificada, aunque las ramificaciones son comunes en los productos comerciales. Químicamente es el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva ($\text{CH}_2\text{-CH}_2$).

Es también el más barato, siendo uno de los plásticos más comunes. Es químicamente inerte. Se obtiene de la polimerización del etileno ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$, llamado eteno por la IUPAC), del que deriva su nombre. Las cadenas de polietileno se disponen bajo la temperatura de reblandecimiento (T_g) en regiones amorfas y semicristalinas.

Existen básicamente dos tipos de polietileno: el polietileno de baja densidad (*Low Density PolyEthylene*, LDPE) y el polietileno de alta densidad (*High Density PolyEthylene*, HDPE). También se pueden distinguir el polietileno lineal de baja densidad y el polietileno de peso molecular ultra-alto (*Ultra High Molecular Weight PolyEthylene*, UHMWPE).

1.3 Polipropileno

Fibra formada de macromoléculas lineales de hidrocarburos alifáticos saturados, donde uno de cada dos átomos de carbono tiene un grupo metilo no sustituido en posición isotáctica sin substituciones ulteriores. Se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Es menos denso que el agua, posee buena elasticidad y resistencia, no absorbe humedad y es resistente a solventes químicos, a los ácidos y a los álcalis.

2. FIBRAS POLIVINÍLICAS

2.1 Fibras acrílicas

Fibras formadas por macromoléculas lineales que presentan en su cadena acrilonitrilo, por lo menos en un 85% en masa. Las fibras acrílicas son suaves, cálidas, ligeras y elásticas, pero de menor resistencia mecánica que las poliamidas y el poliéster. Con ellas se fabrican telas de fácil cuidado. Son resistentes a la luz solar y a la intemperie. Se producen en forma de fibras cortas y tienen la apariencia de una lana suave y cálida, no alergénica. Se utilizan principalmente para elaborar telas semejantes a las de lana, con escasísima absorción del agua. Las fibras acrílicas son fibras de alto encogimiento, sensibles a los ácidos y estables a los álcalis. Ante la acción del fuego se reblandecen, se incendian y arden libremente, descomponiéndose para dejar un residuo negro y quebradizo. Despide un olor químico aromático, muy distinto del olor a vinagre de los acetatos.

2.2 Cloruro de polivinilo

Es un plástico fuerte, con baja cristalinidad y con frecuencia opaco, y tiene una T_g de 85 °C, lo que le hace frágil a bajas temperaturas. Es un polímero de bajo coste, con buena resistencia al impacto y a los productos químicos y con gran rigidez. Es resistente al fuego y tiene gran versatilidad. Se usa en tuberías y conductos, muebles y aislantes.

Las fibras vinílicas son muy resistentes a los ácidos, bases y otros agentes químicos, no arden ni se inflaman, ni absorben humedad y tienen buen poder

aislante, pero son poco estables al calor, encogiéndose a 78 °C. Por sus características, se utilizan principalmente en el sector técnico para la fabricación de telas filtrantes, cordones, redes, vestimenta antifuego y antiácido; su capacidad de encogimiento se aprovecha para elaborar tejidos densos.

3. FIBRAS DE POLIURETANO

Elastano

188

El elastano o *spandex* es una fibra sintética muy conocida por su gran elasticidad, inventado por en la compañía DuPont, que la registró con el nombre comercial de Lycra. Se trata de un polímero de cadena muy larga, formado por lo menos por un 85% de poliuretano segmentado (*spandex*) que se obtiene en filamentos continuos que pueden ser multifilamento o monofilamento. Se caracteriza porque, al alargarse por tracción 3 veces su longitud inicial, la recupera rápida e íntegramente cuando deja de actuar esta fuerza, y porque puede estirarse hasta 6 veces antes de romper. Generalmente se utiliza para la fabricación de ropa interior, ropa femenina, calcetines y, sobre todo, para ropa deportiva.

4. FIBRAS DE POLIAMIDA

4.1 Nailon

El nailon fue la primera fibra sintética que salió al mercado producida enteramente de polímero sintético a partir de la polimerización de una lactama. Brillante o mate, es sensible al calor y de alta elasticidad. Posee un bajísimo índice de absorción de agua y es poco resistente a los ácidos y a los rayos ultravioletas. Se mezcla con las fibras naturales, añadiéndose a éstas hasta un 20% de nailon para abaratar el tejido y mejorar su resistencia. El nailon aguanta bien los lavados aunque hay que plancharlo con mucha precaución. Si es de color blanco admite la lejía. Se puede limpiar en seco.

El nailon 6,6, también llamado nailon 66, es resistente, translúcido blanco, semicristalino y tiene un alto punto de fusión (255 °C).

4.2 Perlón

Otra poliamida importante desde el punto de vista textil es la poliamida 6 obtenida de la caprolactama, conocida con el nombre de perlón, guata o algodón sintético. Está formado por microfibras entrelazadas que constituyen una superficie ideal para el filtrado mecánico; retiene partículas muy finas por lo que se satura con facilidad. Constituye un buen aislante térmico y acústico, pero por su poca higroscopicidad no absorbe el sudor, pudiendo producir dermatitis a las personas de piel delicada.

Es una fibra termoplástica, o sea, deformable por el calor. Dicha propiedad es aprovechada para el ahormado de las prendas fabricadas con ella. Esta forma se conserva, siempre que los tratamientos que se le den posteriormente se hagan a menos temperatura que el ahormado.

Con esta fibras se fabrican multitud de artículos textiles, como medias, ropa interior, vestidos, camisería, paracaídas, artículos de pesca, etc. Tiene también gran empleo mezclado con fibras naturales para darle resistencia a los hilos fabricados con ella.

4.3 Aramidas

a) Kevlar

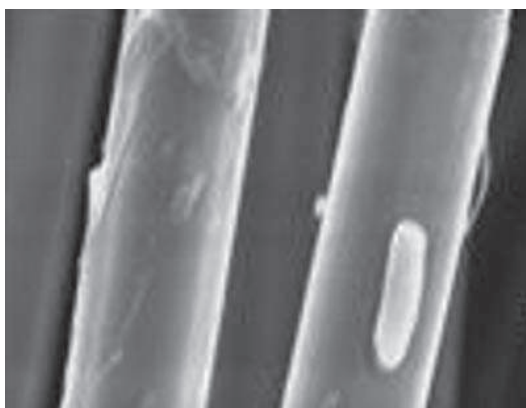


Figura 11. Micrografía de fibras de Kevlar

El Kevlar (Figura 11) es una fibra orgánica de la familia de las poliamidas aromáticas (aramidas) que combina gran resistencia con peso ligero. El Kevlar es 5 veces más fuerte que el acero para el mismo peso, y ofrece un funcionamiento confiable y una resistencia sólida, lo que determina su amplia gama de aplicaciones, que va de los chalecos antibalas y los guantes resistentes a los cortes, a las barreras antiexplosiones y antillamas. En Estados Unidos, casi 3.000 oficiales de los cuerpos de seguridad han sobrevivido a lesiones potencialmente fatales o mutiladoras, porque llevaban blindaje corporal personal de Kevlar. Además, cada soldado de combate de los Estados Unidos ha usado un casco de Kevlar desde la Guerra del Golfo de 1991.

b) Nomex

Es un polímero aromático sintético de poliamida que proporciona altos niveles de la integridad eléctrica, química y mecánica. El Nomex no se contrae ni dilata, ni se ablanda ni derrite durante la exposición a corto plazo a temperaturas tan altas como 300 °C. A largo plazo puede servir como aislante tanto térmico como eléctrico o químico, soportando continuamente temperaturas de hasta 220 °C durante más de 10 años. Su estabilidad

térmica se extiende hasta las bajas temperaturas, en el punto que hierve el nitrógeno (77 °K/196 °C). Los cartones prensados de papel de Nomex resisten plenamente las fuerzas de contracción/dilatación que aparecen.

5. FIBRAS DE POLIÉSTER

Son una familia de polímeros de cadena larga diferentes, con la condición de que al menos un 85% de su peso es un éster de alcohol dihidrico y ácido teraftálico. El poliéster puede ser brillante o mate, por el texturizado, que a su vez puede rizarlo, lo que le confiere un tacto más cálido. Es menos transparente que el nylon. Es una fibra termoplástica, lo que permite en ella un plisado permanente. Es muy elástico y muy resistente a la rotura, a la abrasión, a los insectos y a los hongos.

6. FIBRAS DE POLIISOPRENO

Elastodieno

Fibra elástica compuesta por poliisopreno natural o sintético, o compuesta por uno o más dienos polimerizados, con o sin uno o más monómeros vinílicos. Esta fibra elástica puede estirarse 3 veces su longitud de reposo, recuperando rápidamente la longitud original cuando desaparece la tensión.

IDENTIFICACIÓN DE FIBRAS

El primer paso en la identificación de una fibra es determinar su tipo. No hace mucho tiempo, la mayoría de los tejidos eran de lana, algodón, lino o seda. Era fácil identificarlos mediante la vista y el tacto. Hoy en día existe una amplia variedad de fibras sintéticas que dificulta el análisis y la identificación completa de todos los tejidos.

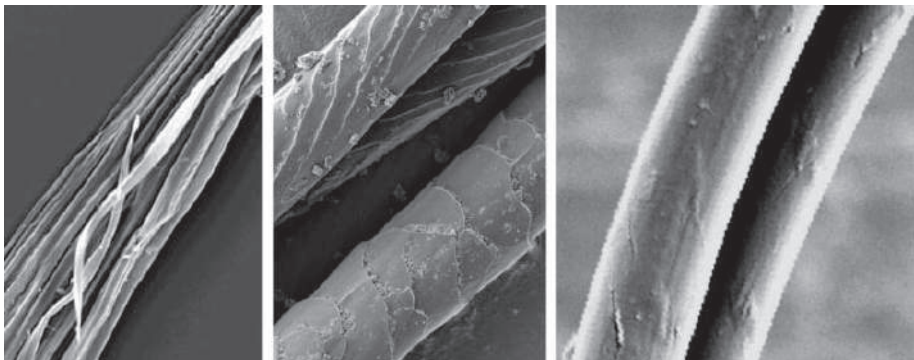


Figura 12. Fibras de lana, algodón y seda al microscopio electrónico de barrido

La mayoría de las fibras naturales, como lana, algodón y lino, que tienen características superficiales distinguibles, se pueden identificar con el microscopio electrónico de barrido (Figura 12). La lana, por ejemplo, al ser pelo de animal, tiene un patrón de escamas superficiales, aunque la lana reutilizada puede haberlas perdido durante el proceso. Si lo que interesa es observar la estructura interna, la elección es el microscopio óptico de contraste. En el caso de la seda y la mayoría de las fibras sintéticas, que se producen por el paso a través de una hilera, la superficie es lisa y suave. No se identifican con el microscopio óptico, sino mediante el análisis de su composición química, generalmente mediante espectrofotometría de infrarrojos.

1. OBSERVACIÓN DIRECTA DE FIBRAS AL MICROSCOPIO

Para poder observar las fibras al microscopio hay que separar las fibras del tejido y abrirlas, colocarlas en un portaobjetos, añadir una gota de agua y colocar sobre ellas un cubreobjetos. De esta forma es fácil distinguir las fibras naturales de las artificiales. Éstas últimas aparecen sin estructura superficial, mientras que las naturales están trenzadas y con superficies rugosas. Incluso se puede observar claramente la mezcla de fibras (naturales y artificiales) existente en muchos tejidos del mercado.

2. MEDIDA DE SU RESISTENCIA A LA ROTURA

El valor de la resistencia a la rotura se obtiene por medio de dinamómetros especiales para hilos que dan una lectura de gramos de resistencia en el momento de la rotura. La resistencia de las distintas fibras a la rotura es variable, siendo entre las artificiales, el nailon más resistente que la licra, y entre las naturales, el algodón más resistente que la lana.

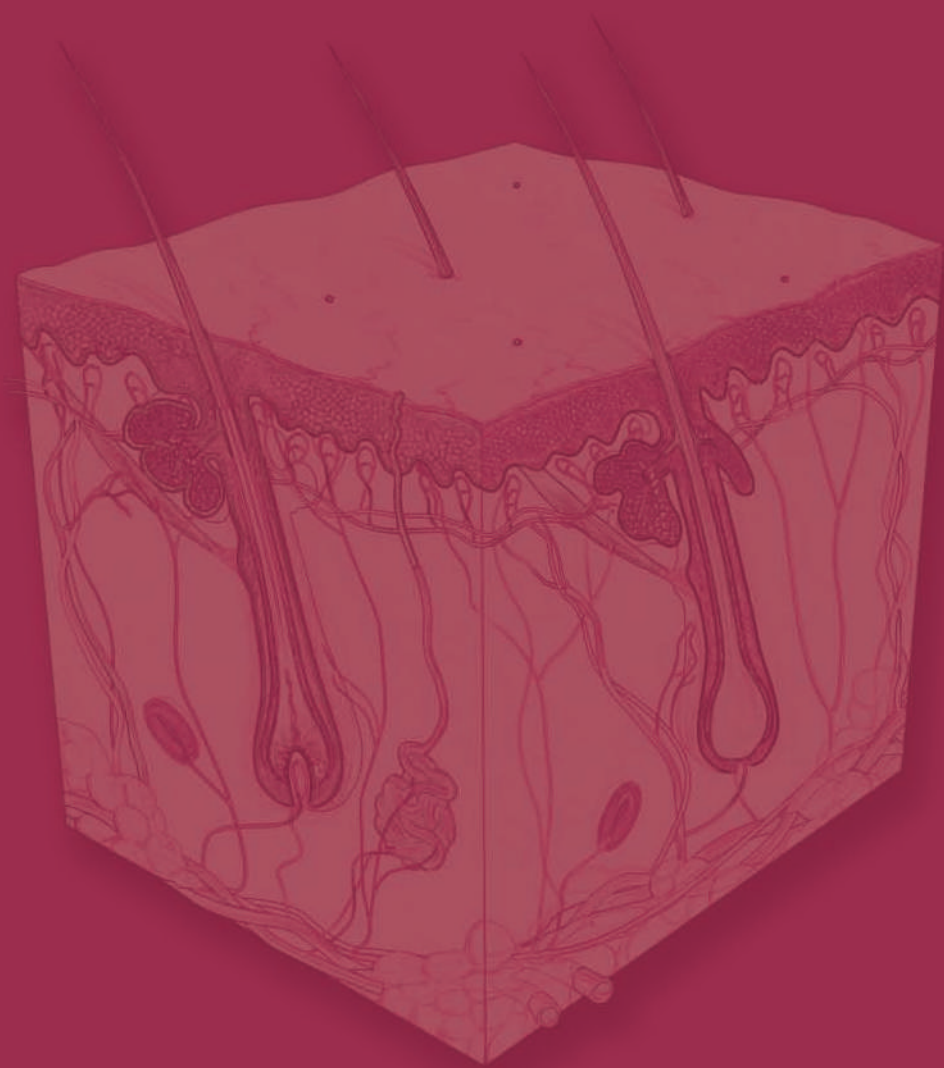
3. COMPORTAMIENTO FRENTE AL CALOR

El comportamiento de las fibras textiles frente al calor es también un método para su identificación, aunque para ello, al ser una prueba destructiva, es necesario contar con cantidad suficiente. En primer lugar, para distinguir también entre tejidos naturales y artificiales, se analiza si éstos se funden o se queman (descomponen). Se coloca un trozo de cada tejido en un crisol y se calienta. Las fibras naturales no funden sino que se carbonizan o queman, mientras que las artificiales se hunden, quedándose pegadas al fondo del crisol.

En segundo lugar, para la identificación de los distintos tipos de tejidos naturales y artificiales, se quema directamente en la llama trozos del mismo área de los distintos tejidos, se mide el tiempo que tardan en arder, y se observa la apariencia del resto quemado. La Tabla 2 muestra esquemáticamente la identificación de los tejidos por su comportamiento frente al calor.

Tabla 2. Identificación de las fibras textiles por ensayo térmico simple

FIBRA	ACCIÓN DEL CALOR	ACCIÓN DE LA LLAMA		AL SEPARAR LA LLAMA	RESIDUO	OLOR CARACTERÍSTICO
Acetato y triacetato	Funde	Arde derriéndose	Rápida	Continúa ardiendo y funde	Deja gota negra, dura y frágil	
Acrílica	Funde	Arde y se derrite	Lenta	Continúa ardiendo y funde	Deja gota negra, dura y frágil (fibra suelta). Filo rugoso, se dobla (tejido)	
Modacrílica	Funde	Arde	Lenta	Generalmente se apaga sola	Filo rugoso, se rompe (tejido)	
Poliéster	Funde y encoge	Arde lentamente, se derrite y da humo	Lenta	Generalmente se apaga sola	Deja gota negra, dura y frágil (fibra suelta). Filo liso claro (tejido)	Aromático
Poliamida (nailon)	Funde y encoge	Arde lentamente y se derrite	Lenta	Generalmente se apaga sola	Bola gris o café (fibra suelta). Filo liso oscuro (tejido)	Apio
Aramidas (Kevlar y Nomex)	No funde	Resistente. No arde	—	Autoextinguible	Carboniza superficie protegiendo interior	
Clorofibra (cloruro de vinilo)	No funde y encoge	Arde lentamente y se derrite	Lenta	Se apaga sola	Deja gota dura y negra	
Poliolefina	Funde y encoge	Arde y se derrite	Lenta	Continúa ardiendo y se apaga sola	Deja gota negra	
Poliuretano	Funde y no encoge	Arde y se derrite	Lenta	Continúa ardiendo derriéndose	Deja ceniza blanda y negra	
PROTEICAS — Lana — Seda	Funde y se riza	Arde lentamente. Llama chispeante	Lenta	A veces se apaga sola	Residuo negro, hinchado y fácilmente pulverizable	Pelo quemado
CELULÓSICAS — Algodón — Lino — Viscosa	No funde ni encoge	Arde	Lenta	Queda incandescente	Pocas cenizas grises con bordes lisos	Papel quemado
Fibra de vidrio	No funde ni encoge	No arde	—	No arde	—	



7

ESTUDIO FORENSE DE PELOS

María Dolores Álvarez Menéndez

Doctora en Veterinaria

Julián Mateos Martín

Doctor en Ciencias Ambientales

INTRODUCCIÓN

Los pelos son uno de los más importantes recursos forenses y con frecuencia proporcionan valiosas pistas sobre la identidad de un agresor o agresores. Los resultados obtenidos del análisis de pelos pueden ser trascendentales para la vida de una persona o la conducción de una investigación.

El pelo es una formación típica del tegumento de los vertebrados, que se conoce generalmente como piel. La piel es el órgano que separa el organismo del medio que le rodea. Está constituida por varias capas:

1. Epidermis: es la parte más externa, formada por tejido epitelial, de origen ectodérmico y pluriestratificada en los vertebrados.
2. Dermis: está por debajo de la epidermis, de origen mesodérmico. Está formada principalmente por tejido conjuntivo, también capilares, etc. Se separa de la epidermis mediante una lámina basal. Esta lámina es ondulante en vertebrados, cada vez más a medida que se avanza en la filogenia.
3. Hipodermis o panículo adiposo: sólo presente en mamíferos, es una capa inferior a la dermis que acumula células con lípidos llamadas adipocitos.

PELOS

El pelo es un elemento característico de los mamíferos producido en la epidermis y compuesto por queratina que le confiere las propiedades mecánicas de rigidez y resistencia. Cada pelo (Figura 1) se forma en el folículo piloso (invaginación de la epidermis), que contiene la raíz o bulbo engrosada en la base y con células que se multiplican con una gran rapidez, creciendo continuamente en un tallo que se proyecta hacia arriba por encima de la superficie. La zona papilar está compuesta de tejido conjuntivo y vasos sanguíneos, que proporcionan al pelo las sustancias necesarias para su crecimiento.

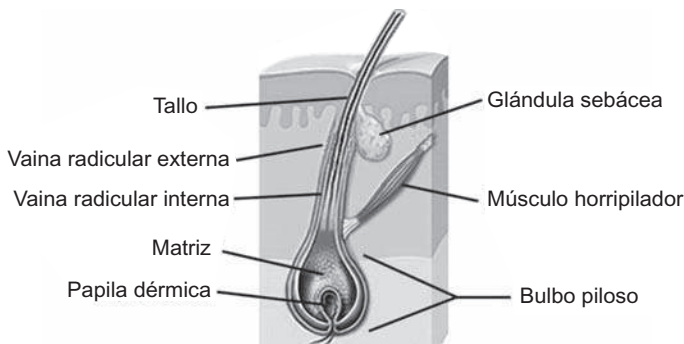


Figura 1. Partes del pelo

Dentro de cada folículo desemboca una glándula sebácea que secreta una sustancia aceitosa constituida por lípidos y ceras que sirve para proteger la piel, actuando como lubricante y como aislante. Existe un manojo de fibras musculares lisas unidas a cada pelo (músculo horripilador o erector). La contracción de los músculos hace que el pelo se erice, cambiando así su ángulo con relación a la piel. Este proceso incrementa visualmente el tamaño del individuo en una reacción de miedo o defensa. Sin circunstancias amenazantes incrementa las posibilidades aislantes de la cubierta del pelo, proporcionando así un mejor abrigo contra el frío, mecanismo poco eficaz en el ser humano, pero patente por resaltar cada folículo formando la llamada «piel de gallina».

El pelo fue considerado siempre por los toxicólogos como un elemento importante para el estudio de determinados tóxicos, fundamentalmente el arsénico y otros compuestos metálicos, debido a sus propiedades. Aunque su aspecto es frágil es prácticamente indestructible, sólo se altera si se quema o trata con ácidos fuertes.

1. TIPOS DE PELOS

El pelo recubre el cuerpo de los mamíferos formando el pelaje. Existen distintos tipos de pelo: el pelo de cobertura o principal, el de barba o secundario y el vello. El pelo de cobertura (pelos de guarda o de jarra) es de mayor longitud que el resto de pelos, está pigmentado, por lo que es el responsable de la coloración del animal y se encuentra en abundancia en su cuerpo ya que cumple la función protectora. El pelo secundario desempeña la misma función que el pelo de cobertura pero de forma menos importante. El vello o borra es muy fino y corto, todavía se distribuye en el pelaje con mayores densidades para servir como aislante térmico. Aunque la mayoría de los mamíferos tienen un abundante pelaje, en los mamíferos marinos como los sirénidos (manatíes) y los cetáceos (delfines, ballenas y orcas) apenas existe pelo en su cuerpo, y lo mismo se puede decir del hombre. Sin embargo, todos los mamíferos, sin excepción, tienen pelo en algún momento de su vida.

En el ser humano recién nacido, el cabello carece de médula y su longitud es de unos 20-25 mm; este pelo se pierde dentro de los 6 primeros meses siendo reemplazado por el pelo infantil. Adquiere un aspecto recio entre el tercero y quinto año de vida, con un diámetro de 0,1 mm.

En la pubertad, aparece el pelo puberal, formando el vello púbico, axilar y facial (barba y bigote), que por lo general son crespos. Los pelos faciales se caracterizan por su sequedad, por otra parte el pelo axilar es más delgado que los anteriores, pudiendo llegar a varios centímetros.

En las fosas nasales y conductos auditivos pueden encontrarse pelos no muy largos, pero tan recios como los de la barba.

2. FUNCIONES DEL PELO

En conjunto, el pelo sirve, sobre todo, para mantener constante la temperatura del cuerpo del animal con la constitución del pelaje. Así el pelaje sirve para proteger a los animales del frío o del calor, este ejemplo lo podemos ver en la chinchilla. La chinchilla puede resistir un abanico muy grande de temperatura, ya que resiste temperaturas desde -5 °C hasta 30 °C. El pelaje también protege la piel de las agresiones del medio, es decir, de los rasguños y del exceso de radiación ultravioleta (UV). Sin embargo, el pelo también desempeña otras funciones como la de proporcionar información sensorial con las vibrisas o la de defensa con las púas de los erizos.

198

3. ESTRUCTURA DEL PELO

Cada especie animal posee un pelo característico en longitud, color, forma, apariencia de la raíz, y características internas microscópicas que distinguen a un animal de otro. También existe una considerable variabilidad en los tipos de pelos que se encuentran en el cuerpo de un animal. En los seres humanos, los pelos encontrados en la cabeza, la región púbica, los brazos, las piernas y otras zonas del cuerpo tienen características que permiten determinar su origen. Los animales incluyen tipos de pelos gruesos externos de guarda, pelos finos de borra, vibrisas de los bigotes u otras localizaciones y otros pelos de la cola y la crin.

La estructura del pelo es fundamental en medicina legal para distinguir si el pelo es animal o humano, de varón o de mujer, de qué raza, de qué parte del cuerpo e incluso la edad del individuo. Todos los pelos son diferentes y por ello es muy útil para distinguir a las personas en casos conflictivos legales. Debido a que los pelos pueden ser transferidos durante el contacto físico, su presencia puede asociarse a un sospechoso o a una víctima de una escena del delito. Los tipos, la condición y el número de cabellos encontrados tienen valor como prueba en una investigación criminal. La comparación de los mismos al microscopio ayuda a determinar cómo pudo haber ocurrido una transferencia.

Longitudinalmente, el pelo se estructura en 4 partes: bulbo piloso, raíz, tallo y punta. Transversalmente, el pelo se divide básicamente en 3 capas: cutícula o escamas, corteza o córtex y médula.

La cutícula es la capa más externa, puesto que envuelve a las otras dos y protege al pelo de las agresiones externas. El córtex está constituido por fibras de queratina, por lo que es la capa que proporciona la resistencia al pelo y contiene los pigmentos que le dan color. La médula es la capa interior y guarda una gran cantidad de aire que proporciona al pelo las características aislantes.

La médula, formada por células queratinizadas laxamente unidas, está presente solamente en los pelos más gruesos (pelo de jarra). El espacio intercelular está lleno de aire. La médula puede ser continua o interrumpida. Es continua en una gran cantidad de animales y generalmente interrumpida en humanos, monos y caballos (Figura 2).

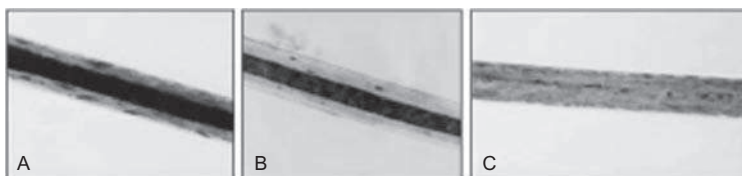


Figura 2. Pelo de ganado (A), perro (B) y humano (C)

El diámetro de la médula puede ser constante o variable. La medida útil es la obtenida por la razón entre el diámetro de la médula y el diámetro del pelo completo en su punto más grueso, medido con un microscopio óptico dotado de ocular micrométrico, denominada índice medular, I. En los cabellos humanos masculinos se encuentran valores promedios de índice medular de 0,25-0,35 y en las mujeres, inferiores a 0,20.

De acuerdo con este índice, el pelo se puede dividir en 3 grupos:

- a) Pelo de médula angosta: menos de 0,5 (pelos humanos y de monos).
- b) Pelo de médula mediana: aproximadamente 0,5 (animales bovinos, equinos y otros).
- c) Pelo de médula gruesa: más de 0,5 (resto de animales).

Algunos pelos humanos muestran una médula angosta y a menudo interrumpida; otros, especialmente los femeninos, son amedulares.

La médula está rodeada por la corteza y fuertemente adherida a ella. Sus elementos son células corticales en forma de aguja que se alinean en una formación regular paralela al eje longitudinal del cabello. El córtex tiene mayor importancia forense ya que contiene los gránulos pigmentados que originan el color del cabello. El color y la distribución de estos gránulos dan al criminalista importantes puntos de comparación entre cabellos humanos. En la corteza se fijan la mayoría de los gránulos de pigmento.

La superficie está cubierta con un tegumento protector, la cutícula, en la que las células especialmente queratinizadas forman 6-8 capas. Buena parte de la resistencia y estabilidad del pelo se atribuye a la cutícula. Las células de la capa externa pueden estar adheridas o bien separadas en las porciones terminales, formando escamas superpuestas que siempre apuntan hacia la punta del pelo (Figura 3). Existen diferentes tipos de escamas: imbricadas, dentadas, cernadas, ovaladas, acuminadas, etc. (Figura 4). En el hombre, la cutícula es suave, poco saliente y con escamas imbricadas. En animales son gruesas y poco imbricadas.

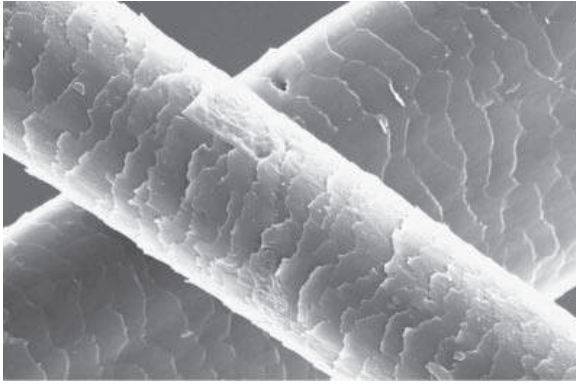


Figura 3. Escamas del pelo

Para el análisis del pelo humano es importante determinar el índice escamoso que es la cantidad de escamas por unidad de longitud. Aunque los índices son muy similares y no existe gran variedad para distintos individuos, es útil en algunos casos para descartar un cabello de otro origen al que se estudia.

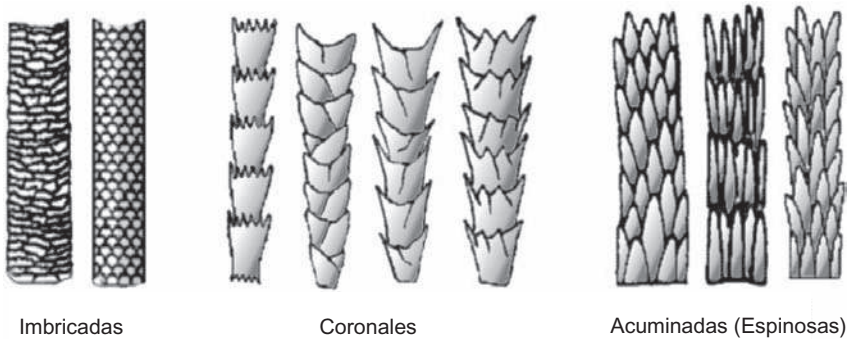


Figura 4. Tipos de escamas de la superficie del pelo

Los métodos de estudio de la cutícula son variados: puede observarse al microscopio agregando una gota de agua, con o sin decoloración previa, se puede teñir con azul de metileno o se pueden obtener moldes de su superficie por embebido del pelo en un medio flexible como esmalte de uñas, solución vinílica o plexiglás en cloroformo.

Independientemente de su origen, el pelo posee ADN en la raíz, que es el lugar donde se encuentran células que dan origen al tallo. La cantidad que hay en cada pelo es muy pequeña, por lo que deben extremarse al máximo las medidas de precaución en su recogida. Cuando los pelos han sido arrancados violentamente del cuerpo, es posible encontrar más cantidad de ADN ya que hay células de la superficie de la piel que resultaron arrancadas junto con la raíz capilar.

La mayoría de los medios de extracción de ADN de la raíz capilar destruyen tanto la raíz como el resto del pelo, y todos los métodos alteran sensiblemente las características del mismo, por lo que, antes de proceder a extraer el ADN, es necesario realizar un análisis morfológico con lupa y microscopio de los cabellos de los que se vaya a extraer ADN, realizando cuantas fotografías sean necesarias.

MICROSCOPIA DEL PELO

El examen de los cabellos humanos en el laboratorio forense se suele llevar a cabo mediante el uso de la microscopía óptica. El examen involucra un proceso de 2 pasos: la identificación de los pelos sospechosos y su comparación con pelos conocidos con el propósito de determinar si 2 o más personas podrían haber entrado en contacto con un objeto. Esta prueba asociativa es especialmente útil en los delitos de violencia, como el homicidio, asalto sexual, asalto agravado y en caso de contacto físico. La morfología de un pelo aislado es diferente si se ha caído espontáneamente o si ha sido arrancado (Figura 5). También en delitos como el robo y el robo a mano armada se pueden recuperar restos de ropa u objetos que puedan contener pelos útiles para la identificación de los sospechosos.

201

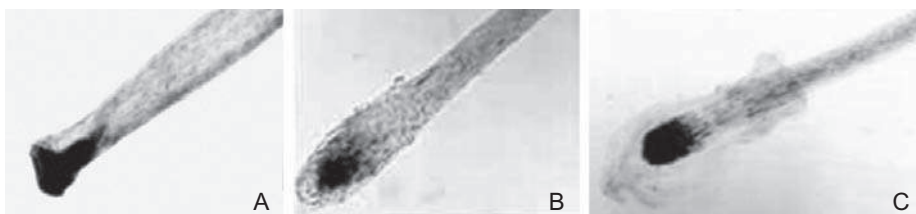


Figura 5. Aspecto microscópico de raíces de pelo desprendido (A), arrancado por la fuerza de un secador (B) y arrancado mediante tirón (C)

El valor de estas pruebas se relaciona con la variabilidad de las características del cabello entre los individuos de la población, que puede ser visualizado utilizando la microscopía de comparación (Figura 6). El microscopio de comparación consiste en dos unidades de microscopía óptica conectadas mediante un puente óptico, de manera que permite la visión simultánea de dos muestras distintas.

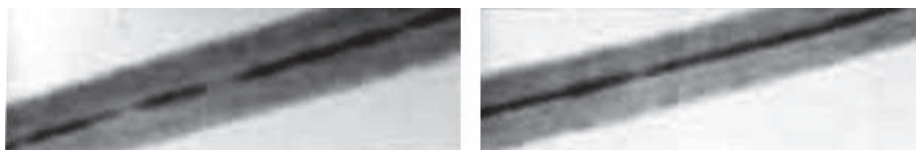


Figura 6. Comparación microscópica de pelos

Hay muchos factores que influyen en la fiabilidad de una asociación, incluida la experiencia, la formación, las limitaciones de las normas conocidas de pelo y la adecuación de los equipos. Aunque las pruebas de pelos son instrumentos valiosos para la identificación de cuerpos, es difícil establecer una probabilidad estadística para una asociación concreta debido, en parte, a la escasez de evaluaciones cuantitativas fiables de las características microscópicas presentes en los pelos.

El proceso del examen de pelos implica diferentes pasos, el primero de los cuales es determinar si el pelo en cuestión procedía de un animal o de un ser humano. Si el pelo es de origen animal, es posible identificar la especie de animal, aunque no excluyendo a otros individuos de la misma especie. Un ejemplo es cuando un pelo de perro se puede asociar a una determinada raza, pero no identificar un perro concreto dentro de esa raza.

202

El pelo está presente en diferentes regiones del cuerpo. Cada región, como la cabeza, pubis, tórax, axila y extremidades, tiene pelos con características microscópicas atribuibles a esa región. Aunque es posible identificar un pelo como procedente de una determinada zona corporal, las regiones del cuerpo que se utilizan principalmente en comparaciones forenses son los de la cabeza y zonas púbicas. Como los pelos están sometidos a un crecimiento cíclico, las características microscópicas visibles son también suficientes para determinar la fase de crecimiento del pelo.

La morfología básica de pelos humanos se comparte en todos los individuos de una población, pero el orden, la distribución y el aspecto microscópico de las diferentes regiones del pelo tienen distintas características, lo que habitualmente permite que personal cualificado pueda diferenciar entre pelos de distintas personas. Una analogía sería la capacidad de un individuo para reconocer la cara de un amigo o familiar en mitad de una multitud, aunque cada persona en la multitud posee dos orejas, dos ojos, una nariz y una boca.

PELOS DE ANIMALES

Los pelos de animales descubiertos dentro de pruebas físicas pueden vincular a un sospechoso o situar un crimen de violencia. Pelos de gato o perro se pueden encontrar en la parte adhesiva de los sobres y en las notas de extorsión preparadas por propietarios de animales de compañía. La transferencia de pelos a la víctima o a la escena del crimen puede ocurrir también cuando el sospechoso es propietario de animales de compañía y tiene pelos de ellos en la ropa o sobre sí mismo cuando se produce el contacto. Esto se conoce como transferencia secundaria de rastro material.

Cuando se encuentra un pelo animal, se identifica como perteneciente a un determinado tipo de animal por comparación microscópica con una muestra de pelo conocido, ya sea de una colección de pelos de referencia o de un animal específico. Si el pelo en tela de juicio presenta los mismos caracteres microscópicos que el pelo conocido, se concluye que el cabello es coherente con los que

procedan de dicho animal. Se observa, sin embargo, que pelos de animales que no poseen suficientes características microscópicas individuales para asociarlos con un animal particular, no excluyen la pertenencia a otros animales similares.

Antes de llevar a cabo una comparación, es necesario tener una adecuada colección estándar de pelos conocidos de animales. A causa de las variaciones en el color y la zona del cuerpo de un animal, se deben recoger pelos de cada zona. Si bien el número mínimo de pelos para crear una muestra significativa es difícil de determinar, el buen juicio debe servir de guía en la recogida de suficientes pelos para representar a los diversos tipos y colores. La muestra debería contener pelos de distinta longitud y pelos tanto desprendidos como arrancados. Si el animal no está disponible para la recogida de muestras, se puede sustituir por los recogidos de un cepillo o peine utilizado para el animal. En el caso de perros o gatos, también se puede utilizar los recogidos de la cama de estos animales.

	Pelo humano	Pelo animal
Canal medular	Red aérea granulosa. Células medulares indivisibles. Índice medular: 0,30. Pelos del vello: sin médula.	Contenido aéreo más o menos voluminoso. Células medulares aparentes. Índice medular: 0,50. Médula en escalones en los pelos del vello.
Sustancia cortical	Forma un grueso manguito. Pigmento en granulaciones regulares finas.	Constituye un cilindro hueco. Pigmentos en granulaciones irregulares más gruesas.
Cutícula	Escamas delgadas poco salientes. Pequeñas e imbricadas.	Escamas gruesas, salientes. Menos imbricadas que en el hombre.

Tabla 1. Diferencias entre pelos humanos y de animales

Los pelos de animales encontrados en la escena del crimen, o en la ropa de los sospechosos y las víctimas, también pueden tener su origen en una prenda de piel. Estos pelos pueden haber sido teñidos artificialmente o recortados y, a menudo, no tienen raíz. En este caso, es conveniente tener un muestrario estándar de todos los tipos de pelos de animales utilizados en prendas de vestir para poder hacer la comparación.

PELOS HUMANOS

Como se dijo anteriormente, el contacto físico puede dar lugar a la transferencia de pelos. Pueden transferirse directamente desde la región del cuerpo donde crecieron (transferencia primaria) o a través de la ropa o el entorno

(transferencia secundaria), ya que cada individuo pierde diariamente alrededor de 100 pelos de la cabeza. Los pelos que se encuentran sobre una víctima o un sospechoso y que parecen haberse caído naturalmente pueden ser el resultado de una transferencia primaria o secundaria, pero la aparición de pelos arrancados sugiere una confrontación violenta.

1. DETERMINACIÓN RACIAL

Resulta de gran importancia forense poder determinar, por medio del pelo, la raza o grupo racial al que pertenece una muestra sospechosa. Existe una numerosa variabilidad racial en la especie humana, relacionada con las diferentes zonas geográficas en las que se han establecido. Aunque los patrones de distribución geográfica siguen teniendo validez, actualmente se pueden encontrar representantes de cada grupo racial casi en cualquier parte del mundo. Existen muchas clasificaciones de las razas, pero la más aceptada es la siguiente:

1.1 Grupo leucodermo o caucasoide (razas nórdica, esteuropea, alpina, dinárica, mediterránea, anatolia, turania, blanca suroriental, indoafgana y ainú)

Los pelos del cuero cabelludo de origen caucásico difieren en textura, forma y grado de pigmentación (Figura 7).

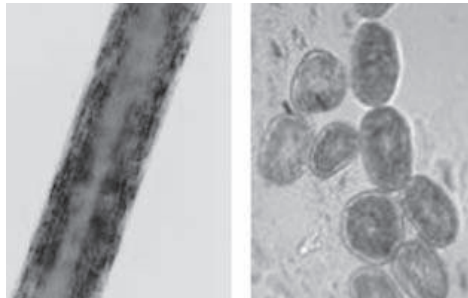


Figura 7. Microscopía de cabello caucasoide

Los cabellos lacios tienen un calibre regularmente liso, que decrece gradualmente cerca de la punta. Otros pelos pueden ser ondulados o rizados, mostrando un aumento gradual de la ondulación; su diámetro decrece alternadamente a lo largo de su longitud, y la médula de tipo interrumpida puede hallarse ligeramente excéntrica. En ambos tipos el pigmento varía en intensidad, pero está concentrado en las porciones periféricas de la corteza. En la mayoría de los casos los gránulos pigmentados son oscuros y la cantidad de tales gránulos determina su color a simple vista, ya sea rubio, rojo u oscuro. La sección es circular u oval y la médula es de pequeña a mediana, con gránulos pigmentarios distribuidos uniformemente.

1.2 Grupo xantodermo o mongoloide (razas norsiberiana, mongólica, indonesia, polinesia, esquimal y amerindia)

Cabello generalmente grueso, recto y de sección circular, de mayor diámetro que los otros grupos raciales, con tallos muy pigmentados, con la médula situada en el centro y con mayor diámetro que el de otras razas (Figura 8). El córtex contiene gránulos de pigmento de mayor tamaño que los de raza caucásica y a menudo se agrupan en zonas irregulares. La cutícula es más gruesa que en las otras razas. Pueden tener un aspecto rojizo característico debido a su pigmento.

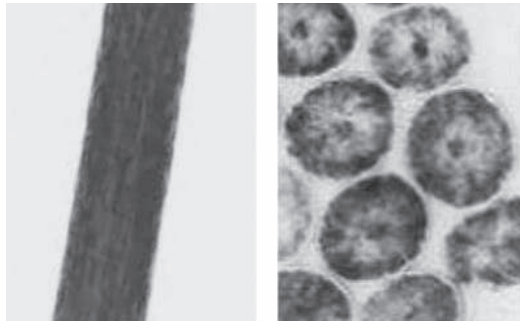


Figura 8. Microscopía de cabello mongoloide

1.3 Grupo melanodermo o negroide (razas melanoafricana, etíope, negrilla, khoisánida, melanoindia, melanesia y negro)

El pelo de la raza negra o africana es normalmente enortijado, retorcido y negro, variando mucho su calibre a lo largo de toda su extensión, ya que crece y decrece su diámetro alternativamente (Figura 9). Una gran cantidad de pigmento se encuentra en la corteza, brindando un color negro intenso opaco. El cabello, en sección transversal, es oval y estrecho o puede ser casi plano; el canal medular está situado en forma excéntrica. Los gránulos de pigmento son más grandes que los de caucásicos y mongoloides y se juntan en grupos de diferentes tamaños y formas. La densidad del pigmento en el eje del pelo puede ser tan grande como para hacer el cabello opaco.

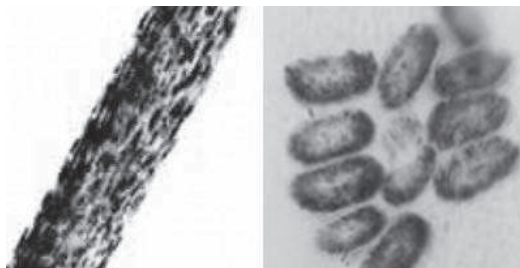


Figura 9. Microscopía de cabello negroide

1.4 Grupo australoide (raza australiana y raza vedda)

En general coincidentes con las razas melanodermas, aunque se da la peculiaridad de que pueden aparecer con cierta frecuencia individuos con la cabellera rubia, sobre todo durante la infancia.

Un pelo se puede asociar a un determinado grupo racial sobre una base de modelos establecidos para cada grupo. La técnica consiste en realizar una inclusión del pelo en parafina o resina de poliéster y luego efectuar cortes transversales con la ayuda de un microtomo para su análisis microscópico. Sin embargo, la determinación racial mediante el examen microscópico del pelo puede ser difícil en el caso de personas de origen racial mixto, que pueden poseer características microscópicas atribuibles a más de un grupo racial. El pelo de los niños también plantea muchas dificultades.

Los pelos del cuero cabelludo proporcionan el criterio más seguro para identificar la raza, ya que permiten una mejor diferenciación que los de otras partes del cuerpo, aunque los de otras regiones corporales pueden ser útiles.

La identificación de la raza es más útil como instrumento de investigación antropológica, pero también puede ser una herramienta asociativa muy útil cuando se dispone de pelos de un individuo con inusuales características raciales.

Pigmentación racial del pelo

Numerosos antropólogos físicos han intentado aplicar escalas cromáticas del cabello a la categorización y clasificación de las razas humanas. Sin embargo, resulta obvio que una clasificación de este tipo está sometida a una casuística tan amplia que no admite clasificación sencilla, existen demasiadas variables. El color del pelo cambia con la edad, el de las personas rubias suele oscurecerse a medida que crecen mientras otros tipos de cabello se aclaran. La canicie es frecuente y precoz en los pueblos blancos o leucodermos, más tardía e infrecuente entre los melanodermos y xantodermos, y excepcional entre los indios de América. El color del cabello puede cambiar también por la influencia de factores climáticos, de tiempos de exposición al sol, de enfermedades, etc., sin contar con los medios de tratamiento o de coloración artificial que practican muchas sociedades de todo el mundo, y que suele cambiar también (y no sólo a nivel superficial) su calidad y morfología.

Aunque puede afirmarse que, por lo general, los pueblos xantodermos y melanodermos tienen el pelo negro (salvo algunas poblaciones australianas en las que hay niños rubios), entre los pueblos leucodermos la variabilidad es extraordinaria, y puede oscilar entre matices muy distintos, desde el rubio claro al negro. Si bien el rubio es más típico de las poblaciones del norte y del oriente de Europa, así como de Norteamérica, suele haber una cantidad significativa de personas rubias en cualquier población leudoderma. El color castaño aparece en todas partes, y el moreno también, aunque sea más característico de los mediterráneos.

2. DETERMINACIÓN DE LA ZONA

Para determinar la región del cuerpo de la que proviene el pelo, se considera la longitud, el diámetro, la forma de la punta, la rigidez, el rizado, el color, el material que cubre la superficie y la forma de la sección transversal. Así tendremos vello facial, púbico, de las extremidades, de la cabeza (frente, sienes, nuca, patillas), de las axilas, del pecho, cejas, pestañas, etc. (Figura 10).

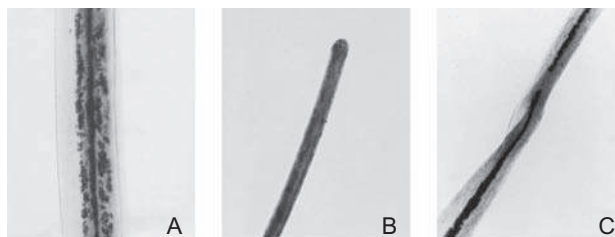


Figura 10. Pelos faciales (A), de las extremidades (B) y púbicos (C)

2.1 Pelos de la cabeza

Los pelos de la cabeza suelen ser los más largos. Se caracterizan por tener un diámetro homogéneo y, a menudo, la punta cortada con tijeras, navaja o maquinilla, cada una de las cuales presenta un truncamiento característico. Cuando no se han cortado acaban en punta, sin truncamiento. En general, los pelos de la cabeza son más susceptibles de alteración que los pelos de otras regiones corporales. Además de la apariencia natural del cabello hay que tener en cuenta el uso de tintes, aclarados, permanentes, y otras aplicaciones químicas, así como las alteraciones ambientales como la exposición excesiva al sol, viento, sequedad, etc.

Los pelos de la cabeza se comparan rutinariamente en los laboratorios forenses. Es importante obtener lo antes posible muestras adecuadas de los sospechosos conocidos y de las víctimas y, si es posible, de otras personas involucradas (muestras de eliminación). La muestra deberá contener cabellos de diferentes zonas aleatorias del cuero cabelludo. El número de pelos necesarios para una comparación significativa puede variar en función de la homogeneidad de las características del pelo, pero la muestra debería ser al menos de 25 pelos enteros. Debe incluir tanto pelos arrancados como peinados, y guardados por separado.

2.2 Pelo púbico

Los pelos del pubis también son comparados habitualmente en un laboratorio forense. Al igual que con pelos de la cabeza, existe una variación considerable entre los individuos en la población, pero no están sometidos a tantos cambios como los pelos de la cabeza, por lo que una muestra tomada un año o más después de un crimen puede servir para una comparación significativa. Se recomienda obtener la muestra lo antes posible y contener por lo menos 25 pelos enteros tomados en distintas zonas de la región púbica.

2.3 Pelo facial

Se denomina comúnmente, según su situación, barba o bigote. Es grueso y puede tener una sección transversal triangular. Bajo aumento pueden observarse engrosamientos o depresiones. Otras características incluyen una médula más desarrollada y la punta truncada por el corte a navaja.

La presencia de pelos faciales en la ropa de un sospechoso o víctima puede ayudar a establecer el contacto entre estas personas y pueden ser comparados microscópicamente. No son tan importantes como el pelo de la cabeza y el vello púbico.

2.4 Pelo de las extremidades

Los pelos de las piernas y de los brazos son más cortos, de forma arqueada y, a menudo, dañados o con la punta cónica. El pigmento tiene apariencia granular y la médula es discontinua. Aunque no suele hacerse una comparación rutinaria de estos pelos en los laboratorios forenses porque no tienen un valor tan significativo, pueden ayudar en la investigación.

3. PILOSIDAD, FORMA Y CALIDAD RACIAL DEL CABELLO

La forma, cantidad y distribución de la pilosidad humana (mucho menos abundante y densa que la de la mayoría de los mamíferos) son factores también tan variables que es imposible establecer correlaciones precisas entre ellas y los distintos tipos raciales.

Muchos individuos caucasianos o leucodermos de tonalidad morena tienen una pilosidad abundante, los de tonalidad rubia la tienen más escasa, y es todavía más escasa entre melanodermos. Los mongoloides o xantodermos y, especialmente, los indígenas amerindios, son casi lampiños, tanto en lo que respecta al rostro como al cuerpo.

4. DETERMINACIÓN DE LA EDAD Y EL SEXO

La edad de un individuo no se puede determinar de forma concluyente por un examen microscópico del pelo, aunque algunos pelos humanos, como los de los lactantes y los ancianos, pueden dar una idea general de la edad. Por ejemplo, los pelos de los lactantes son más finos y menos diferenciados a nivel microscópico. Los ancianos pueden sufrir una pérdida de pigmentos y cambios en la configuración del pelo, que se hace mucho más fino y de diámetro variable.

La determinación del sexo mediante pelos encontrados en el lugar del hecho se basa en la tinción diferencial de los cromosomas sexuales, que se hallan en la interfase de los núcleos de las células de la vaina de la raíz del pelo. En el núcleo de las células somáticas femeninas aparece una masa condensada de cromatina sexual, el corpúsculo de Barr (Figura 11). Según la hipótesis de la

genetista británica Lyon, uno de los dos cromosomas X en cada célula somática femenina es genéticamente inactivo. El corpúsculo de Barr representa el cromosoma X inactivo. Esto ocurre (la inactivación) alrededor del 16º día del desarrollo embrionario. El proceso se denomina lionización.

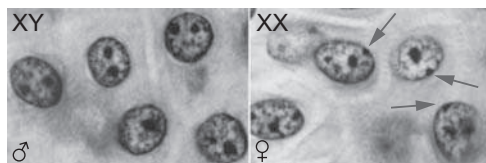


Figura 11. Corpúsculos de Barr en frotis de cabello

Su detección se realiza haciendo un frotis con la raíz del pelo y tiñéndolo con orceína en medio acético. Por transparencia en campo claro, aparece el citoplasma de color rosado pálido y el núcleo rojo más oscuro con una clara y definida membrana nuclear. El cuerpo de Barr se observa como un corpúsculo pequeño, castaño oscuro, cercano a la membrana nuclear. Si el 30% de las células contienen corpúsculos de Barr, se considera que el pelo es de origen femenino.

En el caso del hombre, el cromosoma Y tiene gran afinidad con el clorhidrato de quinacrina, apareciendo como una mancha fluorescente y brillante de color verde. Otra forma consiste en impregnar la raíz del pelo con solución de leucofucsina y observar la fluorescencia. En ambos casos, la presencia de un porcentaje igual o mayor al 30% de células fluorescentes determina el origen masculino de la muestra. Aunque la determinación del sexo de un individuo es difícil mediante microscopía, los pelos teñidos o tratados son más frecuentes en las mujeres. El análisis del ADN nuclear y del ADN mitocondrial proporcionan una información más específica en relación con el posible origen de los cabellos.

5. PELO TEÑIDO

El pelo con algún tratamiento artificial de coloración presenta uniformidad en su tonalidad; además, generalmente no está teñido en la parte próxima a la raíz. A menudo falta el brillo y presenta aspecto quebradizo. Se puede identificar mediante examen microscópico. En la medida en la que el pelo de la cabeza va creciendo, a razón de un centímetro por mes, el tiempo aproximado de este tratamiento se puede determinar por la medida de la longitud de la zona sin tratamiento del cabello.

La lámpara de Wood, que emite radiación ultravioleta a una longitud de onda de entre 320-400 nm, ayuda a la identificación de los cabellos decolorados y teñidos; es interesante comprobar la diferente fluorescencia entre el tallo del pelo y la región próxima a la raíz. Es muy importante comparar el color del cabello con pelos de otras partes del cuerpo y también examinar el color del cuero cabelludo, que puede estar manchado del tinte utilizado. Bajo la lámpara de Wood, el cabello teñido aparece sin brillo y con aspecto de estopa, los cambios cromáticos y la fluorescencia ayudan en el aspecto pericial.

Las tinturas pueden reconocerse mediante las técnicas analíticas correspondientes, no olvidando que en la composición de cada tonalidad intervienen 4-5 tintes orgánicos distintos.

Conviene recordar que las tinturas de oxidación pueden fijarse en el cabello con o sin decoloración previa, según la tonalidad elegida, y en la fijación con esa tonalidad interviene siempre el agua oxigenada como elemento mordiente propiamente dicho. De este modo, para establecer si un cabello ha sido decolorado o no, se lo somete a la prueba de la infiltración o impregnación de ciertos colorantes. Los cabellos naturales claros son resistentes; en cambio, los decolorados por acción de los decolorantes u oxidantes se impregnan fácilmente.

Los pelos que habían sido decolorados con agua oxigenada toman un color azul, mientras que los naturales y los tratados con tinturas no oxidantes, resultan indiferentes al tratamiento. Típicamente, el técnico realiza una comparación del color mediante observación simultánea del pelo problema con un pelo conocido tratado y teñido con los mismos productos.

6. PELO QUEMADO, CORTADO, CAÍDO O ARRANCADO

La identificación de pelos quemados, cortados o triturados también puede efectuarse a través de un examen microscópico.

Es muy importante conocer la temperatura a la cual se quema el pelo. El calor produce alteraciones microanatómicas del pelo, indicando éstas si el cabello fue sometido a la llama o al calor radiante. A 100 °C, el cabello se acorta y pierde peso; comienzan a sufrir alteraciones en su microestructura hacia los 140-200 °C; a esta temperatura las burbujas aéreas, en la sustancia medular, aumentan de tamaño y estallan, venciendo la resistencia de la cutícula. A 260 °C comienza la carbonización, la cual es completa a los 300-400 °C. Estos datos son útiles para determinar a qué temperatura ha sido expuesto el cuerpo de la víctima.

Los reconocimientos histológicos se pueden efectuar en pelos calentados hasta no más de 200-250 °C, pasados los cuales la carbonización impide la determinación de la microestructura del tallo piloso.

El pelo recién cortado muestra el extremo seccionado, con bordes limpios, netos, formando ángulos agudos; pasados 3 días, la punta comienza a redondearse. El que cae espontáneamente muestra un bulbo lleno, bien formado porque ha completado su ciclo. Los que tienen bulbo hueco o excavado no han llegado a su completo desarrollo: esto indica que han sido arrancados. Cuando el pelo ha sido arrancado de forma violenta, aparecen en la raíz partículas o células de la piel adyacente. En este caso, el pelo se puede someter a un análisis de ADN, ya que la muestra se extrae de las células de la piel que están adheridas al bulbo.

Los pelos procedentes de otras zonas del cuerpo que no sean cabeza o zona púbica, en general, no son aptos para una comparación significativa, se consideran muestras secundarias cuya presencia puede ayudar a corroborar la información obtenida durante una investigación.

7. DETERMINACIÓN DEL GRUPO SANGUÍNEO

Para determinar el grupo sanguíneo, las técnicas de elección son las de absorción-elución que determinan el origen de la sangre y tipifican el grupo sanguíneo. Consiste en cortar 6 cm del pelo en estudio en 3 fragmentos iguales y, después de haber sido lavado con jabón y éter, cada trozo se deja 3 h con su antisuero correspondiente (anti a, anti B y anti H) de títulos 128, 64 y 32 respectivamente, con agitación constante (etapa de absorción). Luego se lavan los trozos de pelo con solución salina; se agregan suspensiones de 0,2% de glóbulos rojos correspondientes al antisuero colocado inicialmente. Se someten los trozos de pelo en contacto con los glóbulos rojos a una temperatura de 50 °C durante 10 minutos y se completa la etapa de elución con la ayuda de vibraciones ultrasónicas. Finalmente se centrifuga a 120 G durante 2 minutos y se observa la aglutinación formada.

8. ALTERACIONES DEL PELO DEBIDAS AL MEDIO AMBIENTE

El aspecto microscópico de los pelos se ve afectado por las fluctuaciones naturales biológicas y las influencias ambientales. Los pelos de la cabeza son los más afectados por estos factores, mientras que sobre los pelos del pubis, protegidos por la ropa, tienen menos influencia. Un período de tiempo de varios meses o años de exposición en los pelos de la cabeza puede restar significación en el examen comparativo, mientras que varios años en el vello púbico no se ve afectado de forma significativa.

Cuando los pelos tienen su origen en un cuerpo en estado de descomposición, puede aparecer una banda oscura cerca de la raíz del pelo. Esta característica se ha denominado banda radicular postmortem.

ANOMALÍAS DEL PELO

1. ANOMALÍAS DEBIDAS A ENFERMEDADES NODULARES DEL PELO

Las enfermedades nodulares son el resultado de una atrofia que se produce espontáneamente o que es provocada por una acumulación de parásitos que rodean y comprimen el tallo del pelo. Según la enfermedad, éste sufre diferentes cambios morfológicos que se conocen con el nombre de displasias pilosas (Figura 12). Entre las displasias pilosas más importantes se encuentran las siguientes: cabello anillado (*pili annulati*), moniletrix, cabellos en torsión (*pili torti*), trico-

rraxis nodosa, tricoptilosis, seudomoniletrix, tricorrexis invaginata (síndrome de Netherton) y *pili bifurcati*.

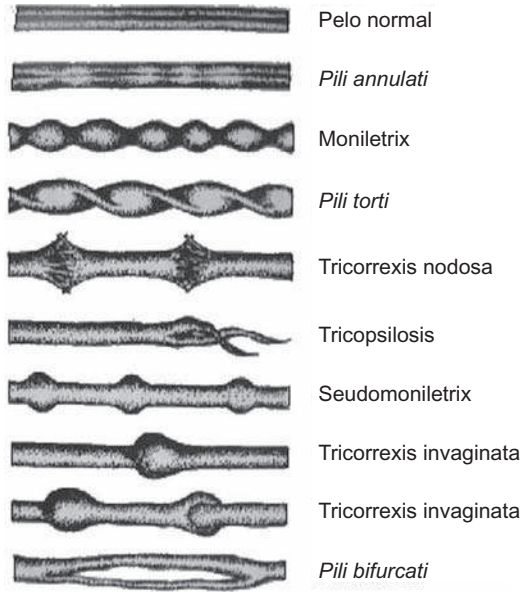


Figura 12. Displasias pilosas

2. PARASITOSIS EXTERNAS QUE SE DESARROLLAN SOBRE EL PELO



Figura 13. Piojo (*Pediculus capitis*)

2.1 Pediculosis

Se trata de una infestación contagiosa del pelo por insectos anopluros. Las 2 especies que parecen sobre pelo humano son los piojos y las ladillas.

a) Piojos (*Pediculus humanus capitis*)

Insectos adaptados a vivir específicamente sobre el pelo de la cabeza del ser humano. Los machos adultos miden entre 2,4-4,2 mm. de longitud, las hembras y entre 2,4-3,3 mm (Figura 13). El cuerpo es alargado y en general aplastado, al menos cuando está sin alimento. La cabeza es libre y los ojos bien desarrollados. Las patas son gruesas y terminan en una garra y una uña. El color de estos parásitos depende de la pigmentación de la piel del hospedador. Se distinguen dos tipos de piojos: piojos de los vestidos y piojos de la cabeza. Los primeros viven entre los pliegues de la ropa, principalmente refugiados en las costuras. Los piojos de la cabeza viven en el pelo fino de la cabeza.

La hembra pone entre 50-150 huevos alargados, de 0,6-0,8 mm de largo, conocidos como liendres, adheridos fuertemente al pelo (Figura 14).



Figura 14. Liendre

b) Ladillas (*Phthirus pubis*)

Al igual que los piojos, son insectos adaptados a vivir de forma parásita sobre el ser humano, aunque en este caso sobre el vello púbico y, excepcionalmente, se pueden encontrar en las axilas, cejas, pelo de brazos y piernas e, incluso, en las pestañas. Tiene entre 1-3 mm de longitud, cuerpo redondeado, aplastado y de color amarillento (Figura 15). Sus huevos o liendres pueden verse en el pelo, cerca de la piel, en forma de pequeños puntos blancos pegados sólidamente al pelo. El período

de incubación de los huevos es de 6-8 días. En otros idiomas suele denominarse literalmente «piojo del pubis». A diferencia del piojo de la cabeza, son muy lentas moviéndose, avanzando cada día aproximadamente 1 cm.

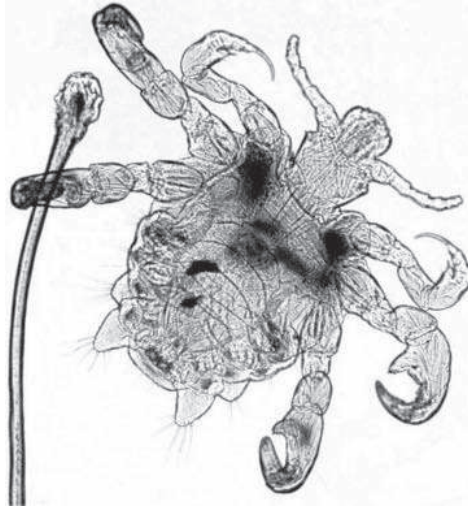


Figura 15. *Ladilla* (Phthirus pubis)

2.2 Otras anomalías

Existen otras anomalías del tallo: la médula doble, índices medulares anormalmente elevados, raíces deformadas y escamas salientes en el margen cuticular, pero su incidencia en la población es muy baja, cuando no anecdótica.

CONCLUSIONES FINALES

Hay varias conclusiones posibles a las que se puede llegar desde un examen y comparación microscópica de pelos humanos. Cuando el pelo en tela de juicio es comparado con pelo conocido utilizando un microscopio de comparación, se debe considerar la gama completa de características microscópicas en toda su longitud. A partir de este análisis, el técnico podrá extraer las siguientes conclusiones:

- Si el pelo en examen presenta los mismos caracteres microscópicos que el pelo de la muestra conocida o colección de referencia se puede concluir que tiene el mismo origen y/o procedencia.
- Si el pelo en examen difiere en los caracteres microscópicos que el pelo de la muestra conocida o colección de referencia no puede asociarse un mismo origen.

- Si se observan similitudes y pequeñas diferencias entre los pelos de la escena del delito y los de la muestra conocida o colección de referencia, no podría llegarse a la conclusión segura de si el pelo procede de la misma fuente conocida.
- Cuando un pelo exhibe las mismas características microscópicas que los de la colección de referencia, puede añadirse una declaración calificatoria en el informe. Esta declaración podría ser de forma similar a la siguiente:

«Las comparaciones de pelo no son una base para la identificación personal absoluta. Cabe señalar, sin embargo, que es sumamente raro encontrar pelos de dos personas (o animales) que presenten las mismas características microscópicas, por lo que es razonable afirmar una fuerte asociación cuando se presentan estas características coincidentes.»

IMPORTANCIA DE LAS PRUEBAS DEL PELO

La importancia de los resultados de los exámenes del cabello depende del método de recolección de las pruebas utilizadas en el lugar del crimen, de las pruebas técnicas de procesamiento empleadas, de la metodología del proceso de examen de pelo, y de la experiencia del profesional que examina el pelo. Los pelos de la cabeza y los púbicos son considerados habitualmente más importantes que los de otras partes del cuerpo.

Las circunstancias particulares de cada caso afectan a la importancia de la identificación del pelo. Cuando un miembro de una familia presumiblemente es participe en un delito, la ubicación, el número y la condición (arrancados o quemados, por ejemplo) de los pelos recuperados pueden ser importantes. La actividad de la víctima, incluyendo fechas, compañeros de trabajo y otras personas que de forma lógica hayan podido tener contacto y/o acceso a la víctima o a la escena del crimen, puede aconsejar una toma adicional de muestras de pelo.

EXAMEN DEL PELO

1. PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA DE MUESTRAS

Los pelos a analizar nunca deben tocarse, se recogen con unas pinzas adecuadas que no lesionen la muestra y se depositan cada uno de ellos en sobres nuevos de papel. Es importante considerar que aunque se encuentren pelos agrupados, podrían ser de distinto origen. Los sobres se rotulan adecuadamente y se remiten al laboratorio.

En el laboratorio se recomienda guardar el pelo en frascos con tapa de vidrio esmerilado, para no alterar su olor característico.

Lo mejor es examinar el pelo cuanto antes. Se debe manejar con pinzas y colocarlo sobre un portaobjetos, cubrirlo con un cubreobjeto (sin aplastarlo) y realizar un examen previo bajo el microscopio. Luego, sin haber hecho una limpieza del ejemplar, agregar agua destilada y examinarlo cuidadosamente. Este procedimiento permite a menudo descubrir manchas de sangre, esperma, pus, etc. Después de haber verificado esta observación preliminar, se puede proceder a limpiar el pelo.

2. LIMPIEZA Y ELIMINACIÓN DE PARTÍCULAS EXTRAÑAS

Para lavar los pelos se emplea solución jabonosa o carbonato de potasio al 10%, indistintamente. Posteriormente se deshidrata con alcohol con el procedimiento habitual en microscopía óptica, se le pasa por xilol y se observa con el microscopio en medio acuoso o glicerinado. Para realizar una preparación permanente puede emplearse bálsamo de Canadá.

Si el pelo fuese muy oscuro y aconsejable aclararlo para examinar alguna característica concreta, puede emplearse una de las siguientes soluciones: agua oxigenada, perhidrol caliente, ácido acético, solución hipoclorito de sodio, solución alcohólica de cloro o ácido nítrico. Se obtiene buenos resultados con agua oxigenada de 100 volúmenes. En general la decoloración del pelo se cumple en aproximadamente 15 minutos, no alterando la estructura de las muestras.

8

ESTUDIO PERICIAL DE SUELOS

Ana María Álvarez González

Profesora titular de Edafología. Universidad Autónoma de Madrid

María del Pilar Carrel González

Profesora titular de Edafología. Universidad Autónoma de Madrid

INTRODUCCIÓN

La ciencia que estudia el suelo toma el nombre de edafología. El suelo es un cuerpo natural, de composición mineral y orgánica que deriva de un material geológico subyacente. La roca que da origen al suelo ha sufrido a lo largo del tiempo y la acción de la climatología, en ocasiones, ligada a la topografía, la vegetación, los microorganismos y el hombre, por lo que el resultado final, el suelo, puede tener una composición variable a la del material geológico originario en sus características físicas, químicas, biológicas y mineralógicas. La edafología estudia la composición y propiedades del suelo, su génesis y clasificación. Cuando se aplica el estudio de suelos a temas legales, como es el estudio de la escena de un crimen, la ciencia debería tomar el nombre de edafología forense.

No obstante, el hecho de dedicar especial atención a los materiales geológicos más o menos transformados, obliga a que la edafología constituya parte de la geología forense, que es la terminología habitual en el mundo anglosajón. La geología forense estudia también aguas superficiales y subterráneas, pólenes, diatomeas, microorganismos, vegetación y polvo que pueden hallarse en los suelos. La experiencia muestra que cualquier estudio de suelos realizado en el mundo de la Ciencia Criminalista se encuadra dentro de la geología forense, con este nombre es como se suele procesar la información. La bibliografía más moderna incluye la terminología estudio forense de suelos.

La diversidad de materiales que puede contener el suelo, hace que su estudio sea extremadamente complejo por lo que la comparación entre muestras es también extremadamente discriminatoria.

Esta ciencia no es nueva, nace en la ficción cuando el británico Sir Arthur Conan Doyle, creador de Sherlock Holmes, publica sus novelas policíacas entre 1887 y 1893, y cuando el austriaco Hans Gross publica en 1893 el *Manual de Investigación Criminal*.

Hace más de 100 años que las evidencias (pruebas) de suelos pueden ser empleadas con garantía en investigaciones criminales. Georg Popp, científico alemán, fue uno de los primeros investigadores en emplear pruebas obtenidas en suelos para el esclarecimiento de un crimen sucedido en 1904. Desde entonces, el descubrimiento e implantación de técnicas cada vez más avanzadas ha mejorado el estudio y la comparación de pruebas edáficas.

Cuando se quiere saber si una persona ha estado en determinado escenario, basta con la comparación de los restos de suelo hallados en sus zapatos, ropas o vehículo, con los de la propia escena del crimen. El estudio del suelo adherido a calzado, ropa, neumáticos u otros componentes de vehículos, de personas sospechosas de estar involucradas en crímenes, puede determinar el origen común con el suelo del escenario que se investiga, mediante la comparación de sus respectivas características físicas, químicas, biológicas y mineralógicas.

El estudio criminalístico de un suelo apenas difiere del llevado a cabo en los laboratorios de edafología o ciencias de la tierra, salvo por su minuciosidad. Si

las muestras encontradas en un sospechoso no se parecen a las halladas en la escena del crimen es suficiente para desestimar su relación. Pero si las pruebas le involucran, no basta un estudio de tamaño o densidad de partículas del suelo, hay que descender a estudios más sofisticados y discriminatorios a los detallados anteriormente, para poder imputarle con seguridad.

TOMA DE MUESTRAS

Tan importante como el propio estudio, es la toma de muestras de suelo. El suelo tiene espesor variable, desde la superficie hasta la roca de la que procede, puede medir de pocos centímetros a más de un metro. Como además de espesor variable, es variable su composición, la toma de muestras del suelo, en superficie o profundidad, se hará dependiendo del escenario del crimen.

Cuando el suelo está mojado, se forma barro que tiene mayor poder de adherencia que el suelo seco. En estas condiciones la permanencia en ropas, calzado, neumáticos, etc. es mayor y mantiene mayor proporción de arenas gruesas que cuando la ropa se contamina con suelo seco (Caro *et al.*, 2007)

La profundidad a muestrear dependerá del caso que se investigue. Si aparecen signos de barro en unos zapatos o en un neumático, se tomarán muestras del interior de los dibujos y se cotejarán con las muestras tomadas en la superficie del suelo. Igualmente, el área de muestreo dependerá del caso a tratar. La evidencia de la impresión puede demostrar la ubicación y el movimiento a lo largo de la escena, puede indicar la posición del vehículo o persona bajo sospecha, incluso, la dirección tomada y el tipo de vehículo o calzado empleado. Como con esta información se puede averiguar la ruta seguida, se puede reducir sensiblemente la zona a muestrear (Murray y Tedrow, 1975, 1992).

Si se estudia un enterramiento y la evidencia ha aparecido en utensilios o ropas, habrá que muestrear desde la superficie hasta la profundidad de la fosa, tomando muestras de cada una de las diferentes capas u horizontes, ya que los utensilios o ropas del sospechoso han podido arrastrar tierra de cualquier punto de la escena del crimen. Igualmente, se deberán estudiar los restos de suelo adherido al cadáver para esclarecer si ha tenido uno o más enterramientos.

Cuando se trate de muestrear pruebas de superficie y el terreno presente heterogeneidad de suelos, será necesaria la toma de muestras superficiales de cada uno de los suelos próximos a la escena del crimen. Se debe proceder a la toma de muestras con objetos cuyo material impida la contaminación del escenario. Los objetos empleados para la toma de muestras tienen que tener un tamaño adecuado para evitar profundizar si se quieren muestras superficiales. Igualmente, si se quiere muestrear en profundidad, los utensilios empleados al efecto deben ser capaces de evitar la contaminación entre horizontes del suelo.

Independientemente que se trate de muestreo horizontal o vertical, las muestras, individualizadas, se guardarán en bolsas de plástico numeradas. Es aconsejable hacer una descripción de la zona de muestreo anotando las condiciones del terreno, las peculiaridades que se detecten sobre el mismo y el levantamiento de un mapa o croquis de ubicación de muestras con las coordenadas UTM y/o geográficas perfectamente delimitadas. Igualmente se tomarán muestras de partículas u objetos extraños que se encuentren en los suelos, tanto en muestras superficiales como profundas. Durante el XIII Simposio de Ciencia Forense de Interpol, celebrado en Lyon, Francia, en 2001, se evidenció la necesidad de proceder al levantamiento de muestras de suelos por personal especializado en edafología, capaz de constatar características y propiedades de los mismos e interpretar los resultados obtenidos tras el estudio de laboratorio.

Cuando se trate de peritar un vehículo, las muestras se tomarán del interior del dibujo de los neumáticos, como ya se indicó, ya que en esta zona de la rueda la muestra se mantiene mejor adherida. También se procesarán las muestras de suelos halladas en los distintos compartimentos del interior, en las alfombrillas, o en el exterior y el motor del vehículo.

Si tras un estudio rutinario de los suelos, por ejemplo, determinación del tamaño de las partículas o densidad de las mismas, los valores no son coincidentes, se puede asegurar la nula relación entre muestras. Si por el contrario, tras el estudio hay coincidencia entre muestras por textura o densidad, no puede hablarse categóricamente de un mismo suelo, habrá que recurrir a pruebas mucho más selectivas para asegurar la similitud de las muestras. En este caso se ha de proceder a un estudio exhaustivo de la mineralogía y el perfil orgánico de ambos suelos. En caso de coincidir ambas pruebas, se está en condiciones de aseverar la procedencia común de los suelos con completa garantía (Interpol, 2001; Caro *et al.*, 2007).

Para efectuar una correcta recogida de muestras se debe seguir la rutina que se indica a continuación:

1. Muestrear el suelo tan pronto como sea posible. El suelo de la escena del crimen puede cambiar drásticamente de un día para otro por inclemencias de tiempo.
2. Las muestras se tomarán de la escena del crimen y de los suelos por donde se supone se ha desarrollado la ruta de acceso y /o de escape del imputado.
3. Recoger muestras donde haya cambios importantes de color, textura y composición.
4. Recoger muestras de suelos a una profundidad acorde con la profundidad de las huellas o la que indique la escena del crimen.
5. Recoger muestras de suelos de zonas de coartada, vivienda y trabajo del sospechoso y compararlas con las de la escena del crimen.
6. Hacer siempre un mapa de localización de puntos de muestreo. Si en los puntos de muestreo de suelos aparecieran objetos extraños, fibras,

cristales, restos de pintura, han de recogerse y analizarse e indicar en el croquis el lugar donde se tomaron. La bibliografía consultada contiene numerosos casos resueltos por la identificación de las partículas extrañas halladas en los distintos escenarios.

7. No desprender el suelo adherido de zapatos, ropas o herramientas, mientras se mantenga fresco. No procesar las herramientas con el suelo aún húmedo. Dejar secar al aire los restos de suelos en las diferentes muestras y luego recoger por separado en bolsas de papel.
8. Proceder de la misma manera en los suelos adheridos a los vehículos, dejarlos secar al aire y guardar en bolsas de papel.
9. Transportar las muestras recogidas en la escena del crimen y las de comparación por separado para evitar que se contaminen.
10. Mantener las pruebas en contenedores herméticos, como bolsas o botes de plástico. No utilizar sobres de papel (cuando el suelo se recoge directamente de la escena del crimen) ni botellas de cristal, pues podrían romperse.
11. Embalar bien las bolsas o botes con muestras para mantener las estructuras de los suelos intactas.

ESTUDIO DE PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El estudio de los suelos requiere siempre de una preparación previa a cualquier determinación. Esta preparación consiste en el secado al aire de las muestras y el cribado de las mismas por un tamiz de 2 mm de diámetro.

Los parámetros a determinar estarán en función de la dotación del laboratorio y de la capacidad discriminante de la prueba.

Ya que el suelo presenta constituyentes inorgánicos, minerales de diferente tamaño y composición, orgánicos y biológicos, el capítulo se desglosa también en el estudio y el cotejo de muestras (suelo-problema y suelo-referencia), en las técnicas para el estudio de componentes inorgánicos, orgánicos y biológicos, así como en las técnicas para investigar cuerpos extraños que aparecen en la escena del crimen y que no son habituales en un medio natural.

1. TAMIZADO

El primer paso es secar al aire los suelos. Si están adheridos a ropas o herramientas, se retirarán con un cepillo cuando estén secos. Posteriormente se pasan por un tamiz de 2 mm, parte quedará sobre el tamiz y parte pasará por él, se recogen ambas fracciones y se etiquetan por separado: fracción gruesa y fracción fina.

En caso que sea de interés comparar la agregación natural de los suelos, es decir, el agrupamiento de partículas de diferente tamaño, retirar y etiquetar varios agregados (terrones) de suelo antes de proceder al tamizado.

1.1 Fracción gruesa

Esta fracción, que no ha pasado por el tamiz, tiene un tamaño tal que las partículas pueden estudiarse a simple vista. Cuando interesa ver alguna característica superficial pueden estudiarse con lupa binocular. A través de estos equipos de aumento se identificarán partículas gruesas de carácter geológico y otras partículas de interés como son semillas, fibras, restos de pintura, trozos de ladrillo, carbón, vidrios, polvo, etc., elementos extraños al suelo que han de recogerse para posterior identificación y elaboración de conclusiones periciales.

1.2 Fracción fina

Con este nombre se conoce la fracción que ha pasado por el tamiz y sobre la que se realiza las distintas determinaciones edáficas que se indican a continuación. Para el edafólogo, suelo es la fracción que pasa por el tamiz de 2 mm. Se toma esta medida de diámetro de partícula porque es a partir de ese tamaño cuando las películas de agua que rodean las partículas interactúan entre ellas. A medida que la partícula es menor, presenta más superficie activa y las interacciones son más fuertes. Este hecho se comprueba cuando se compara la adherencia entre arena y arcilla.

Es habitual que esta fracción se denomine tierra fina.

2. DETERMINACIÓN DEL pH

No suele ser una prueba con grandes posibilidades de discriminación, pero es evidente que si las muestras son coincidentes han de tener el mismo valor de pH en agua y solución de cloruro potásico. El valor de pH suele mantenerse constante en el tiempo, salvo que haya presencia de ciertas sustancias que provoquen una alteración del mismo. Es en este caso cuando se recurrirá al estudio de esas sustancias para poder asociar el cambio de pH a las mismas. También es interesante saber si la presencia de esas sustancias procede del propio material originario, por alteración posterior o tiene origen exógeno.

3. DETERMINACIÓN DEL COLOR

La comparación del color en muestras secadas al aire es, por sí sola, insuficiente para discriminar entre muestras. Para incrementar la capacidad discriminatoria, se sugiere cotejar el color de la muestra de suelo cuando se ha secado al aire, cuando se ha humedecido, después de eliminar la materia

orgánica con peróxido de hidrógeno, después de eliminar los óxidos de hierro usando ditionito sódico y tras la calcinación a 850 °C en horno eléctrico. Tras la eliminación de la materia orgánica y los óxidos de hierro, el color se aprecia mejor en las partículas más finas, en la superficie seca de los depósitos producidos por centrifugación después de realizados los tratamientos. La capacidad discriminante entre muestras es muy superior cuando éstas mantienen la coincidencia entre colores tras los distintos tratamientos aplicados.

4. DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA

Con esta prueba se determina la composición en porcentaje de arena, limo y arcilla que tiene un suelo. El poder discriminatorio de la prueba depende de la reproducibilidad de los datos. Esta prueba presenta mejor reproducibilidad cuando la separación de partículas en diferentes tamaños se realiza por vía húmeda. El procedimiento realizado hasta ahora en los laboratorios forenses es complicado y consume una enorme cantidad de agua. Por ello, desde 2001 (XIII Simposio de Ciencia Forense de Interpol) se propone emplear el tamizado en húmedo, únicamente, para separar la fracción fina de la gruesa mediante un tamiz de 0,05 mm de malla. El tamizado en seco es más fácil y se aplica mejor en la separación de la fracción gruesa. Generalmente la separación por tamaños distingue entre 4-9 clases. Cuando la separación entre clases es muy próxima en tamaño, y se trabaja con poco suelo, los resultados se reproducen mal. Con el fin de mejorar resultados y alcanzar mayor poder discriminante, se reduce el fraccionamiento a 3 clases: <0,05, 0,05-0,2 y 0,2-2 mm, mediante difracción de rayos láser.

5. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

Esta característica está íntimamente relacionada con la composición del suelo. Cuanto más componente mineral tenga, será más denso (mayor densidad cuanto mayor proporción de minerales pesados), y cuanto mayor sea el contenido en materia orgánica, menor será su densidad. Edáficamente es posible determinar 2 tipos de densidad, que se conocen como densidad real y densidad aparente.

La densidad real es la relación entre peso y volumen del suelo sin agregar, sin estructura. Para su determinación, se pesa una cantidad exacta de suelo y se introduce en un matraz aforado, se llena con líquido hasta el enrase, la diferencia entre el volumen del matraz y el del líquido de relleno es el volumen que ocupa el suelo pesado. El peso en gramos, dividido por el volumen en mililitros, indica el dato de densidad. La densidad aparente es la relación del peso de un agregado de suelo y el volumen de ese agregado. En este caso se ha de considerar el volumen ocupado por el material del suelo y por los poros. Para su determinación se procede a calcular el volumen que desaloja el agregado, cuyo peso se conoce cuando se sumerge en un líquido.

6. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE PARTÍCULAS

Otra forma de comparar suelos es conociendo las densidades de las partículas que los constituyen. Los suelos tienen una composición mineralógica muy variable, estando constituidos por minerales de muy diferente densidad. Este dato de densidad se valora de distinta forma al correspondiente a la densidad real. En aquél se estudiaba la densidad del suelo en su conjunto, en éste se busca determinar diferencias de densidad por proporción y constitución mineralógica de partículas.

Esta determinación de densidad se puede realizar por dos procedimientos distintos, cuya elección está en función de la textura. Si se trata de suelos en los que domina la fracción fina, menor de 0,05 mm, se sigue un proceso semejante al empleado en la determinación de la textura. Se pone el suelo con solución dispersante en la probeta de sedimentación. Se agita y se observa el tiempo que tarda en sedimentar las diferentes fracciones, el tiempo será mayor cuanto menor sea el tamaño de las partículas. Como las fracciones más finas pueden permanecer en suspensión transcurridas las 24 horas, se toman alícuotas de las suspensiones, se centrifugan y se recoge el sobrenadante. Se observa el material depositado en el fondo del tubo, que es exclusivamente arcilla, por lo que se puede acceder al estudio de la misma por difracción de rayos X. El sobrenadante puede llevarse a un espectrofotómetro de luz visible y medir la turbidez que proporciona el color que presente.

Cuando las muestras son arenosas, este sistema de sedimentación con solución dispersante no puede emplearse, pues la sedimentación de arenas es tan rápida que no da tiempo a establecer medidas. En este caso hay que recurrir a la separación de partículas de distinta densidad mediante mezclas de líquidos de densidad diferente. Las mezclas que se sugieren son bromoformo y bromobenceno, bromoformo y alcohol absoluto, y solución de Clerici y agua destilada. Tienen como inconveniente que no cubren todo el espectro de densidad, por lo que siempre existe un mineral pesado que cae al fondo de la probeta de sedimentación nada más comenzar la experiencia. Se ha de recurrir al estudio de esa fracción mediante microscopía para diferenciar los componentes. Otro inconveniente del método es que minerales distintos (suelos distintos) pueden tener una densidad muy parecida que no se aprecia con los líquidos densos. Esto último hace que el método haya quedado en entredicho desde la celebración en 2001 del XIII Simposio de Ciencia Forense de Interpol. En la actualidad, se tiende al uso de técnicas más específicas con mayor capacidad discriminante.

Las técnicas de difracción de rayos X y microscopía se tratan con posterioridad en este texto. Son técnicas complementarias. Siempre van precedidas de una separación de fracciones aislando, en cada caso, la que interesa.

7. ESTUDIO MICROSCÓPICO DE MINERALES PRIMARIOS

La observación de minerales con microscopio es todavía la más importante técnica de examen forense de suelos, a pesar de la introducción de equipos muy sofisticados de análisis de última generación. Se trata de un examen

óptico a través del microscopio de luz polarizada. El personal que haga esta prueba ha de ser experto para distinguir y clasificar distintos materiales. La observación e identificación de los minerales de la fracción arena es una prueba esencial en el estudio forense de suelos, su aplicación tiene capacidad discriminante entre el suelo que se cuestiona y los de referencia. Mediante esta técnica es posible distinguir hasta 200 minerales distintos, ya que se puede realizar con ella la determinación del color, el índice de refracción, ángulo de extinción, figuras de elongación, colores de dispersión, etc. Además estos equipos permiten la observación de los minerales con nícoles cruzados y luz convergente, con lo que se incrementa la capacidad de discernimiento entre componentes.

A medida que los equipos adquieren mayor poder de resolución, aumentan las posibilidades de estudio por imagen de partículas minerales de menor tamaño, como son los minerales de la arcilla. Las arcillas, que tradicionalmente se han estudiado mediante difracción de rayos X, pueden ser estudiadas por microscopía electrónica de alto poder de resolución. Gracias a la microscopía electrónica fue posible aclarar el asesinato de un familiar de un conocido presentador de Televisión Española a finales de los 70. El cadáver de una señora apareció en la proximidad de un vertedero, el camino de acceso al vertedero presentaba una textura arcillosa de gran adhesividad. El sospechoso que investigó la policía tenía en su casa unos zapatos con restos de arcilla. Se procesó la arcilla de los zapatos que resultó ser aparentemente idéntica en composición a la del terreno circundante al vertedero pero, ante la insistencia de inocencia del sospechoso y debido a la falta de seguridad para imputarle el crimen, la policía optó por realizar un análisis más exhaustivo de la arcilla de los zapatos. Se estudiaron ambas muestras por microscopio electrónico, las imágenes de las arcillas que, en principio se consideraron idénticas, mostraron imágenes distintas. Se desestimó la culpabilidad del sospechoso.

Cuando se habla de equipos que multiplican el poder resolutorio de un microscopio, se hace referencia al microscopio electrónico de barrido equipado con espectrómetro de rayos X de energía dispersiva (SEM-EDX) y a la sonda de electrones (EPMA). Ambos equipos se consideran técnicas microanalíticas capaces de diagnosticar a través de imágenes y de análisis elemental. Por imagen, fotografiando objetos que se escapan al ojo humano, y por análisis, dando la composición elemental del microfragmento de muestra analizado. Estos equipos están informatizados y tienen elevado poder de resolución. La preparación de la muestra es costosa y pesada pero tiene tan buena capacidad discriminante que es capaz de distinguir diferentes mineralogías en muestras de color idéntico.

El microscopio electrónico de barrido, SEM, o el microanálisis por sonda electrónica, EPMA, se consideran técnicas microanalíticas capaces de mostrar o analizar materiales que generalmente no pueden ser observados por técnicas visibles. Cuando se dice que pueden diagnosticar por imagen se refiere a que pueden fotografiar un objeto mucho más pequeño de lo que puede ser visto incluso a través de un microscopio óptico.

La posibilidad de analizar significa que pueden identificarse los elementos de los que está compuesta la muestra. El análisis elemental puede realizarse en muestras muy pequeñas, a nivel de micras, así la microsonda de electrones puede identificar y medir partículas del orden de 5 micras, con pequeño margen de error. Estos instrumentos son dos de los mayores avances científicos en instrumentación, aunque tienen sus límites. Uno de esos límites es que no todas las muestras pueden ser expuestas a alto vacío. Otro es que los elementos más ligeros que el oxígeno (número atómico 8) no pueden medirse sin reservas, y la microsonda no es sensible a concentraciones de elementos por debajo de las 100 ppm. Aún así estos equipos son de absoluta validez para mineralogía y petrología. Cuando las muestras a observar son de material no conductor, ha de procederse a la preparación de la muestra, que consiste en su recubrimiento con metal de alta capacidad de conducción, generalmente oro, así se consigue una imagen de alta resolución.

Estos instrumentos pertenecen al grupo de instrumentación de sonda de partículas. En este caso se bombardean los materiales con electrones, los cuales tienen alta energía y velocidad por ser acelerados con varios miles de voltios. Otros instrumentos de sonda de partículas son la sonda iónica (SIMS), la sonda de protones (PIXA) y el microscopio electrónico de transmisión (TEM). Todos estos instrumentos son diferentes en diseño y ofrecen solapamiento en prestaciones. La sonda iónica, SIMS, o espectrometría de masas de ión secundario es un equipo que acelera iones, como oxígeno o argón, sobre una muestra con el fin de medir las moléculas que salen de ella mediante espectroscopia de masas, esta técnica puede alcanzar sensibilidades del orden de partes por billón. La sonda de protones o análisis de rayos X inducidos por protones, PIXA, se basa en enviar sobre la muestra un cañón de protones previamente acelerados y con una energía de aproximadamente un millón de voltios. Cuando inciden sobre la muestra generan rayos X secundarios. La medida de los rayos X generados es de alta sensibilidad, incluso en elementos que se encuentran en concentraciones muy bajas, debido a la ausencia de radiaciones de fondo.

La microscopía electrónica de transmisión, TEM, se diferencia del SEM porque los electrones que se emplean para incidir sobre la muestra están provistos de muy alta energía. El resultado de tal incidencia es una radiación fluorescente. Esta técnica tiene la ventaja de que los electrones de alta energía y muy baja longitud de onda pueden extraer información de distancias tan cortas como son las intraatómicas. Las muestras que se emplean para trabajar con esta técnica son muy pequeñas, del orden de 2 mm, y han de ser muy delgadas, del orden de nanómetros, que equivalen a varias distancias intramoleculares.

Mientras el SEM ha sido usado históricamente como cámara y microanalizador para análisis elemental, la microsonda electrónica, más moderna, se optimiza para uno u otro uso, aunque tiene capacidad para realizar ambos. Así un SEM puede cuantificar rayos X con un detector de rayos X de energía dispersiva (EDX). La microsonda está diseñada con un espectrómetro de rayos X de dispersión de onda, lo cual limita las libertades de uso pero, sin embargo, puede dar una imagen casi tan buena como un SEM.

El SEM ha venido empleándose habitualmente como cámara fotográfica. Las imágenes mostradas son reales y pueden ser fotografiadas por técnicas ordinarias, la iluminación es debida a la emisión de partículas, que se denominan electrones secundarios, estos electrones pueden ser detectados a través de un detector SE como un monitor de imagen. La imagen brillante es el resultado de la emisión de electrones secundarios, que depende de la estructura de la superficie del mineral.

El microanalizador de sonda de electrones está diseñado para analizar los rayos X que son emitidos por la muestra cuando se bombardea con un rayo de electrones. La muestra que se va a tratar es plana y el sistema de detección de rayos X con dispersión de onda permite una mayor sensibilidad al análisis elemental y menor concentración de elemento que con EDX. Las concentraciones que se miden están en el rango de 500-1.000 ppm, aunque para ciertos elementos y tipos de material, el límite de detección puede descender hasta 20 ppm.

Como una radio que necesita un dial para sintonizar la onda de su estación favorita, los espectrómetros necesitan ser sintonizados a la longitud de onda de los rayos X característicos de cada elemento. Así, si se quiere medir 9 elementos como Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na y K, la energía y longitud de rayos X emitidos deben cuantificarse entre varios espectrómetros.

Este equipo permite el análisis elemental de fases minerales en equilibrio. La información puede ser utilizada para determinar presión, temperatura y tiempo de cristalización. Sirve para estudiar la historia del crecimiento de un mineral desde el núcleo a la corteza.

Estos ejemplos ilustran el uso tradicional de la microsonda de electrones para el análisis cuantitativo de una localización puntual de una muestra. En las últimas décadas, la capacidad de los ordenadores y el *software* aplicado a los análisis de imagen permiten mapear la distribución de un elemento, no sólo como cantidad de elemento sino como distribución espacial.

El microscopio electrónico de barrido SEM-EDX es una de las técnicas más útiles e importantes en un laboratorio de edafología forense. La única desventaja de estos equipos es que son muy costosos y requieren personal especializado para un óptimo rendimiento. Pueden ser muy útiles para el estudio de partículas de pólenes, fibras o cuerpos extraños que se encuentren en el suelo, como ponen de manifiesto los trabajos publicados en *Forensic Geology* durante la celebración de los XIV y XV Simposios de Ciencia Forense.

8. ESTUDIO DE MINERALES SECUNDARIOS

Los minerales de la arcilla son minerales secundarios en su mayoría. Están formados por capas de tetraedros de sílice y de octaedros de Mg y/o Al. Las diferentes uniones entre capas dan lugar a los diferentes tipos de arcilla. Ese empaquetamiento de 2 o más capas constituye el tipo de lámina. Las

láminas se disponen repetidamente a lo largo del eje vertical, siempre con la misma distancia entre ellas, por lo que la distancia interlaminar es una seña de identidad de determinada arcilla. Se encuentran en el suelo tanto por herencia de la geología preexistente (origen primario) como por procesos de síntesis (origen secundario). Los minerales de la arcilla son de un tamaño tan pequeño que su estudio no se puede realizar por microscopía óptica, pero sí por microscopía electrónica, con la que se puede apreciar forma, textura, alteraciones superficiales, etc., como ya se indicó. Las técnicas empleadas para estudiar e identificar arcillas son difracción de rayos X (XRD), microscopía electrónica de transmitancia (TEM), análisis térmico diferencial o espectroscopia de infrarrojo.

Cuando se emplea XRD, se consigue la identificación del mineral porque la distancia interlaminar es específica de cada tipo de arcilla. Para identificar con absoluta precisión se ha de hacer un estudio en 4 pasos: un diagrama de la muestra en polvo, un diagrama con la muestra orientada, otro con la muestra glicolada y, por último, el diagrama con la muestra calcinada después de hincharla con etilenglicol. Se realizan los 4 difractogramas que permiten la discriminación de la presencia en la muestra de uno u otro tipo de arcilla. El empleo de 4 difractogramas es debido a que muchos minerales tienen un espaciado interlaminar semejante, pero no todas se comportan igual frente al etilenglicol, unas tienen capacidad de hincharse, otras no; unas mantienen un espaciado interlaminar cuando se calcinan a alta temperatura, otras pierden el agua de hidratación y colapsan. Un difractograma, además de identificar las arcillas presentes en la muestra, permite la realización de un análisis semicuantitativo de las mismas. El problema más severo de identificación de arcillas está en la identificación de minerales interestratificados. Son mezclas de minerales cuyas bandas de identificación son muy complejas y dan picos mal individualizados. Para identificar esos interestratificados se ha desarrollado un programa matemático aplicado a los diagramas de rayos X, llamado programa de descomposición de curvas, con el que se solventa el problema de las mezclas de arcilla.

La técnica de difracción de rayos X es muy adecuada para determinar la presencia de diferentes materiales geológicos, arcillas, óxidos o carbonatos, sustancias todas ellas cristalinas, con estructura atómica ordenada.

Otra técnica empleada en el estudio de arcillas es la microscopía electrónica de transmisión. Esta técnica diagnostica por imagen, en eso se parece al microscopio electrónico de barrido, SEM, pero a diferencia de él, la energía de transmisión de los electrones es muy alta, dando una radiación fluorescente que se impresiona en placa o en film. La ventaja es que la radiación es de muy baja longitud de onda, de alta energía, y permite extraer información de muy corta distancia, como sería la distancia entre átomos, en esto se parece a la XRD.

Estos métodos no son adecuados cuando se tiene en el suelo sustancias amorfas, con estructura no ordenada. Los componentes amorfos del suelo son

poco abundantes en un clima de estaciones contrastadas, pero se presentan en gran cantidad en suelos de origen volcánico. En los suelos de características ándicas, la fracción arcilla está compuesta mayoritariamente por minerales amorfos, alofanos e imogolitas. Cuando se trata de investigar un suelo ándico y compararlo con uno de referencia de las mismas propiedades, la fracción arcilla tiene que ser estudiada por otros métodos: análisis térmico diferencial y espectroscopia Raman y de infrarrojo.

9. ANÁLISIS QUÍMICO DE ELEMENTOS

Con este nombre se designan los análisis que conducen a la identificación y cuantificación de elementos presentes en una muestra de suelo. El suelo está formado por mezclas de sustancias orgánicas y fragmentos de rocas minerales constitutivos de la arena, el limo o la arcilla, como óxidos, sales, etc. En ocasiones, suele hacerse un análisis químico elemental de todos los constituyentes. En otras ocasiones se ha propuesto el estudio de elementos mediante análisis secuencial y su pertinente comparación con el análisis secuencial realizado en el suelo de referencia. También se ha postulado el estudio de los elementos en una determinada fracción del suelo, la considerada biodisponible, con la correspondiente del suelo de referencia.

Independientemente de la partícula o fracción elegida, estas metodologías requieren de la preparación previa de la muestra y su detección y cuantificación elemental en un equipo de medida. Cuando se habla de equipos de detección y cuantificación se suele hacer referencia a técnicas de espectroscopia atómica, que se clasifican en técnicas de absorción atómica, emisión atómica o fluorescencia atómica, dependiendo de la energía de absorción, emisión o fluorescencia que se cuantifique. Los equipos que miden la cantidad de energía absorbida se denominan AAS, los que cuantifican la de emisión ICP-AES e ICP-MS, y los que cuantifican la energía de fluorescencia RXF. Los dos últimos tienen la ventaja de poder realizar análisis multielementales, mientras que en AAS se cuantifica elemento por elemento.

La presencia de estas técnicas analíticas dentro de la geología forense va cobrando importancia como muestran las revisiones bibliográficas de Sugita y Suzuki realizadas en los periodos 2001-2004 y 2004-2007, correspondientes a los XIV y XV Simposios Internacionales de Geología Forense.

El estudio de elementos en el suelo abarca otras técnicas como son la determinación de relaciones de isótopos estables de C y N. O como es el estudio del U-238 procedente de los fertilizantes (fosfatos) aplicados al suelo durante un largo periodo de tiempo, en andisoles cultivados y no cultivados de Japón, y sus productos de desintegración, uno de ellos, el polonio-210. Aunque estos últimos han estudiado los suelos con fines ambientales, la relación de isótopos en el suelo puede ser un método comparativo de muestras.

10. ESTUDIO DE LA MATERIA ORGÁNICA

Este procedimiento estudia exclusivamente la materia orgánica humificada, materia orgánica que procede de restos vegetales y animales descompuesta y resintetizada por la acción de los microorganismos del suelo. Es la materia orgánica presente en la fracción de suelo que pasa por el tamiz de 2 mm. Está constituida por una compleja mezcla de sustancias aromáticas y alifáticas difíciles de identificar, ya que son sustancias muy polimerizadas de elevado peso molecular. Existe un proceso analítico para separar las sustancias húmicas en sus componentes mayoritarios: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Con esta separación es posible identificar cuantitativamente los contenidos en las fracciones antes indicadas. Sin embargo no existe absoluta seguridad de que aún coincidiendo las fracciones se trate de un mismo suelo. Es posible que dos suelos distintos, desarrollados en un mismo clima y con restos vegetales de la misma especie, presenten un fraccionamiento de sustancias orgánicas semejantes. Esta prueba sólo es válida para asegurar que los suelos que se comparan no se parecen.

Para identificar positivamente 2 o más muestras hay que recurrir a técnicas más específicas, a aquellas que sean capaces de identificar las sustancias húmicas en función de la estructura molecular de los componentes. El estudio de la materia orgánica humificada se puede realizar por dos vías. Una de ellas es mediante el uso de métodos no destructivos, como son la espectroscopia ultravioleta-visible, la espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier, la espectrometría de resonancia magnética nuclear, etc. La otra, la que aplica una metodología destructiva, incluye la degradación térmica o pirólisis.

La resonancia magnética nuclear se basa en el estudio del carbono-13 que forma parte de determinadas estructuras, ya que al tener un núcleo atómico con espín distinto de 0 es activo a un campo magnético. El campo magnético aplicado produce un desdoblamiento de los niveles degenerados de energía del espín nuclear produciéndose transiciones entre ellos como consecuencia de la absorción de una energía adecuada. La disposición de los niveles de energía es una propiedad tanto de los núcleos de la molécula como de su entorno electrónico y de las interacciones entre ambos. La intensidad, forma y posición de las señales obtenidas en el espectro están íntimamente relacionadas con su estructura molecular. Esta técnica permite cuantificar aromaticidad, estructuras alquílicas y oxígenos alquílicos. Sería pues una magnífica técnica de estudio de MO del suelo, salvo porque se necesita un contenido de materia orgánica en él de un 5% o más, algo bastante infrecuente en suelos desarrollados en clima semiárido.

Un método destructivo para la comparación de suelos es la pirólisis analítica. Se trata de una metodología novedosa fundamentada en la descomposición química de la materia orgánica causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno u otros reactivos excepto, posiblemente, vapor de agua.

Al aplicar energía térmica a una macromolécula, ésta se rompe por los enlaces más débiles. Esto da origen a una serie de productos cuya naturaleza

depende de la estructura molecular inicial. Los productos generados se separan haciéndolos pasar por un cromatógrafo de gases, posteriormente se identifican los fragmentos por espectrometría de masas. El espectro obtenido después de la pirólisis identifica la materia orgánica del suelo. La técnica se conoce por las siglas Py-GC-MS.

Al tratarse de un proceso de lisis térmica no produce combustión ni carbonización completa de la materia orgánica, ésta se rompe en moléculas intermedias que constituyen un perfil con el que identificar el suelo por comparación con otro de referencia. Una ventaja respecto a la técnica FTIR es su nivel de detección. Se trata de un equipo de altísima sensibilidad capaz de detectar ppb, por lo que no es necesario que el suelo tenga altos contenidos de materia orgánica. Se considera una de las más esperanzadoras técnicas para el análisis forense de suelos.

11. ESTUDIO MICROBIOLÓGICO

La microbiología del suelo se ha utilizado poco en estudios de edafología con fines criminalísticos. Las comunidades biológicas son tan importantes como los compuestos inorgánicos pero tienen la dificultad de cambiar con las estaciones del año. La complejidad metodológica se suma a la dificultad del cambio estacional. No obstante, Thorton *et al.* (XIII Simposio de Ciencia Forense) proponen una metodología que da muy buenos resultados; consiste en medir las actividades enzimáticas de la fostatasa, arilsulfatasa, ureasa, tripsina e invertasa.

Existe otro test que resulta difícil de aplicar. Se trata de un estudio completo del funcionamiento de la microbiología del suelo mediante la respuesta de los microorganismos a diferentes fuentes de carbono, 11 compuestos que son: lactosa, acetato, sodio, arabinosa, lisina, serina, valina, cisteína, timidita, sorbitol, almidón y detergente. Se obtiene el sustrato por tratamiento con ultrasonidos, se ponen los extractos de suelos con los 11 sustratos por separado con un indicador de crecimiento de microorganismos. Se incuban los tratamientos durante 72 horas a 27 °C y se observan los cambios de color que se produzcan.

Otra posibilidad es la aplicación de técnicas de biología molecular al suelo. Se trata de estudiar el ADN de la comunidad microbiana. La técnica ha sido empleada para comparar el ADN de los microorganismos de la suela y la huella de un zapato. Los resultados mostraron una magnífica capacidad discriminatoria. La aplicación de la técnica MCPC (*application of microbial community profiling and characterization*) permite el manejo y comparación simultánea de varios suelos.

Se debe sobreentender que la actividad biológica de los suelos reside en el horizonte superficial, en la parte más externa, donde se instala la vegetación. Por lo que esta prueba es interesante si las muestras que se procesan son de horizontes con materia orgánica humificada. En el caso de estudiar horizontes más internos del suelo, sin presencia de materia orgánica, se tendrá que recurrir a las metodologías de comparación ya indicadas.

12. ANÁLISIS DE PARTÍCULAS EXTRAÑAS

Microscópicamente, el suelo es una mezcla heterogénea de materia orgánica, fragmentos de roca, gránulos minerales, arcillas, óxidos, etc. Por ello cualquier partícula rara, no habitual en el suelo, puede ser utilizada como prueba en el estudio pericial del mismo. En ocasiones, el hallazgo de un elemento extraño da más información y discrimina mejor una evidencia que un estudio exhaustivo de densidades, arcillas, etc.

Las partículas son de naturaleza muy variada, pueden ser fibras textiles, restos de pigmentos y vidrio (frecuentes en casos donde estén involucrados automóviles), etc. La bibliografía referente a pigmentos es muy extensa y no sólo desde el punto de vista criminalístico, existen muchos estudios arqueológicos y artísticos sobre la identificación de metales, barnices y resinas en pinturas y tallas. Otros restos habituales en escenas de crimen y que ayudan a esclarecer casos son polvo de diversa naturaleza, pólenes y diatomeas.

En muchos casos se han encontrado restos humanos, frescos o viejos, restos de drogas, de sustancias farmacéuticas, etc. que se suelen estudiar en otros laboratorios debidamente equipados con secuenciadores de ADN, cromatografía líquida de alta resolución y cromatografía de gases, HPLC y CG.

Se considera interesante y aconsejable el uso previo de microscopía óptica o electrónica para dilucidar la naturaleza del resto a estudiar.

Para investigar las partículas se pueden utilizar diferentes equipos de análisis. La elección se hará en función de las características de las partículas. Cuando se trate de partículas inorgánicas, se aconseja un análisis químico total, en el que se refleje la composición elemental de la partícula. Para ello se debe recurrir a técnicas analíticas que sean capaces de medir diferentes elementos químicos de una sola vez: fluorescencia de rayos X, espectroscopia de emisión de plasma acoplado por inducción (ICP-AES) o espectroscopia de masas con fuente de ionización (ICP-MS), son las técnicas más modernas. Todas requieren de una digestión ácida que ponga en solución los elementos a determinar, la mayoría de las técnicas mencionadas detectan contenidos totales de las sustancias que se miden.

Para la determinación de la especie química en la que se encuentra el elemento, hay que recurrir a otros medios, uno de ellos sería la separación por electroforesis capilar, en este caso la muestra no puede ser atacada previamente con ácidos, por lo que ha de disolverse o agitarse sólo con agua.

Cuando la partícula o el elemento extraño que se investiga tenga origen orgánico, la identificación será mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) o cromatografía de gases (GC). La elección de la técnica estará en función de su capacidad de disolverse en agua o en disolvente orgánico. Son equipos caros y necesitan personal altamente cualificado que pueda optimizarlos al máximo. La determinación de orgánicos es lenta y tediosa, necesitando ser extraída del medio mineral en el que se encuentra bajo metodologías distintas. Los patrones internos con los que trabajan y los patrones de cuantificación suelen tener un coste elevado.

La técnica de la pirólisis asociada a espectrografía de gases es quizá la más útil.

13. ESTUDIO DE PÓLENES Y MATERIALES BOTÁNICOS

En ocasiones el peritaje de una muestra pasa por el estudio de las partículas de polen halladas en la escena del crimen. El polen es la célula vegetal masculina que interviene en la reproducción. Su morfología es observable al microscopio y es propia y característica de cada especie vegetal. Una de las propiedades más sobresalientes y útiles dentro del mundo forense es su morfología externa: presenta una superficie exterior cubierta de puntas que hace que se pegue a las ropas y calzado con suma facilidad. Al tratarse de un producto vegetal también queda en el suelo, por lo que es posible cotejar el polen del lugar de los hechos y el que se halla en la ropa o calzado del sospechoso. Según Caro *et al.* (2007), es importante tener en cuenta que los granos de polen que están depositados en la superficie del suelo pertenecen a la última floración, los pertenecientes a floraciones anteriores han sido arrastrados al interior del suelo en suspensión con el agua de lluvia. Por ello, si se toma la muestra de suelo en fechas próximas a la comisión del delito, ésta debe ser superficial. Si se muestrea la escena del crimen meses después de haberse cometido el delito, la toma de muestras ya no será únicamente de superficie sino que se deberán tomar muestras independientes cada varios centímetros de profundidad.

El polen encontrado informa sobre el tipo de suelo y la vegetación e identifica el ambiente en el que se ha desarrollado el suelo. Informa además de la propagación del polen. Según la planta de la que proceda, el polen ha sido transportado por el viento, generalmente lejos de la flor, o ha sido transportado por insectos, con lo cual las distancias entre planta y lugar de localización pueden ser inferiores. El estudio del polen tiene mucha relevancia en investigación forense. Existe amplia bibliografía al respecto.

El estudio del polen se realiza con microscopio electrónico. Como se indicó anteriormente, el uso del microscopio electrónico y la pertinente preparación de muestras requieren de personal experto. Se suma a la complejidad de la técnica el hecho de que los pólenes tienen diferente propagación según la especie vegetal de la que procedan. Así que a la dificultad técnica debe sumarse experiencia en botánica para procesar muestras y dilucidar resultados. Una de las mayores dificultades con las que se va a encontrar el analista es el tamaño de partícula (menor de 100 μm de diámetro), esto conlleva una actividad superficial que le hace adherirse a otras partículas del suelo de las que previamente han de separarse para comenzar su estudio.

La preparación de la muestra para su estudio en el microscopio es tediosa, hay que mantener una rigurosa limpieza en el ambiente y en los útiles de trabajo porque los pólenes se transportan con el aire y podrían contaminar las muestras. Hay que separar el polen de otros materiales con los que está aglutinado y elegir la fracción de suelo que pasa por el tamiz de 250 micras, con lo que el volumen de muestra se reduce sensiblemente. Posteriormente se separa el polen de los minerales mediante líquidos de densidad conocida y centrifugación. Una vez separada la fracción que interesa, se procede al blanqueo del polen que ha resultado oxidado por los tratamientos previos. A continuación, ya blanqueado, se somete el polen a la acción de diferentes colorantes y, por último, se monta sobre glicerina o cualquier otro

aglutinante, o gelatina, según Caro *et al.* (2007) para su observación al microscopio. Tras las imágenes se procede a la identificación en manuales de botánica.

También es posible el estudio de semillas en el suelo. La técnica aplicada puede ser el microscopio electrónico, para diferenciar morfologías, o la técnica de pirólisis asociada a cromatografía de gases, para identificar los compuestos que integran cada semilla.

14. ESTUDIO DE DIATOMEAS

Las diatomeas son microalgas unicelulares, tienen caparazón silíceo, son microscópicas y tienen un tamaño que oscila entre 0,5-700 μm . La forma y ornamentación del caparazón son muy variadas. Están distribuidas por todo el mundo, se encuentran en cualquier lugar donde haya luz, humedad y nutrientes. Se desarrollan en cualquier ambiente, incluso con pH menores de 2 y a más de 60 °C de temperatura. Se encuentran en ambientes continentales, ríos, lagos, lagunas, diques, pantanos, aguas estancadas, etc. En ambientes marinos, litorales u oceánicos también, así como en paredes húmedas, superficie del suelo, corteza de árboles y plantas superiores húmedas y sobre líquenes, musgos y algas.

Las diatomeas se han reconocido estudiado y clasificado desde hace más de 200 años. Todos estos conocimientos se han empleado en el esclarecimiento de crímenes y medicina forense, por lo que desde tiempo atrás existen manuales de ecología taxonómica que clasifican la presencia de diatomeas según los ambientes.

Las diatomeas se observan con frecuencia en el suelo y pueden propagarse en el ambiente incluso en condiciones de escasa humedad. Presentan variedad de especies y asociaciones, por lo que su estudio es importante en discriminación forense. Hasta el momento, la máxima contribución al estudio de diatomeas dentro de la Ciencia Forense ha estado relacionada con muertes por inmersión. Así que siempre que se produce una muerte por inmersión, la medicina forense es capaz de dilucidar si el sujeto llegó al agua vivo o muerto, y en el primer caso, si se ahogó en agua dulce o salada en caso de duda. A efectos de este capítulo, interesa el estudio de microalgas del suelo.

Cuando se trata de un crimen y el ahogado llega vivo al agua, la geología forense busca restos de diatomeas en las ropas y zapatos del sospechoso y en el suelo o agua donde se encontró el cadáver o donde supuestamente se produjo el crimen.

La extracción de las diatomeas puede ser problemática. La dificultad depende del origen de las mismas. Las diatomeas procedentes de agua fresca tienen una cubierta silíceo más gruesa que las de origen marino. Esto hace que haya que aplicar diferente solución extractante para evitar alteraciones en el caparazón durante la manipulación de la muestra. Las alteraciones se produjeron con el uso de tolueno-350, por lo que se aconseja emplear proteínasa K, para extraer las de procedencia marina. En la actualidad parece que el mejor procedimiento es la digestión ácida de la muestra orgánica, con ácido nítrico. El ácido nítrico es un potente oxidante, solubiliza la materia orgánica sin alterar los caparazones

de las diatomeas que se separan por centrifugación. Caro *et al.* (2007) sugieren el tratamiento con ácido nítrico y calcinación en horno mufla hasta la obtención de cenizas blancas. Posteriormente, las cenizas se redisuelven con ácido nítrico y agua bidestilada, se centrifuga la suspensión y se estudia el sedimento.

Independientemente del caso que se investigue, como la presencia de diatomeas en la red de distribución de aguas es un hecho constatado, se precisa eliminar éstas para evitar la contaminación con las que provienen del cadáver o lugar los hechos. Para evitar la contaminación de muestras, todo el instrumental y el material de laboratorio precisa ser lavado con mezcla crómica, alcohol y éter, y enjuagado 3 veces con agua bidestilada.

El estudio posterior se realiza con microscopio electrónico.

15. ESTUDIO DE POLVO

Se conoce con este nombre una mezcla cualquiera de diferentes tipos de partículas sólidas distinguibles y fibras de tamaño menor a 500 micras de diámetro. Su estudio se incluye dentro del apartado de partículas raras en el suelo.

El polvo que se encuentra en la atmósfera puede tener distinta procedencia, pueden ser partículas finas del suelo que se suspenden en el aire o polvo procedente de erupciones volcánicas, incendios o polución. El polvo disperso en el aire actúa como un aerosol e influye en las propiedades y comportamiento de la atmósfera frente a la radiación. El polvo doméstico es el que se genera en las casas, oficinas y otros ambientes humanos, se forma principalmente por desprendimiento de células humanas. A estas células muertas hay que sumarles los ácaros del polvo que se alimentan de las mismas. Durante ese proceso de alimentación, los ácaros excretan enzimas y heces que también quedan suspendidas en el aire.

El interés del geólogo forense radica cuando este aerosol se deposita en el suelo.

Al tratarse de una mezcla de componentes, la variedad de composición favorece la discriminación entre varias muestras. Si los restos son de origen común, la asociación de partículas ha de ser coincidente.

El estudio del polvo, como el de cualquier partícula rara, se ha de realizar por microscopía electrónica. Una correcta exploración SEM provista de EDX puede ser suficiente para comparar pruebas. Si fuera necesario, tras este reconocimiento y según sus características, se efectuarán los análisis pertinentes de ADN si son restos humanos o de animales; si se trata de partículas orgánicas, se analizarán por pirólisis, cromatografía de gases y espectrometría de masas; y si son inorgánicas, por espectrometría de emisión de plasma o fluorescencia.

Para el estudio del interior de partículas carbonosas es aconsejable la microscopía de transmitancia electrónica. Se conocen al menos 4 grupos de partículas componentes. Uno de ellos integra las partículas más grandes, que son de carbón y proceden de materiales como madera o derivados carbonizados de la celulosa, pueden alcanzar hasta milímetros de diámetro y su morfología recuerda a la del

material del que procede. Existe otro grupo que integra esferas de menor tamaño, son porosas y se originan cuando se carbonizan gotas de líquido sin cambio sustancial en la forma. Las partículas más pequeñas son las que proceden de fase gaseosa, son partículas esféricas o casi esféricas, por su pequeño tamaño suelen estar adsorbidas en otros componentes. El cuarto grupo lo constituyen partículas microscópicas que están retenidas en material carbonoso.

En Japón se han estudiado los suelos próximos a las calles y carreteras de Kioto mediante fluorescencia de rayos X. Con ello se ha realizado un inventario de partículas características con fines forenses (Sugita y Suzuki, XIV y XV Simposios Internacionales de Ciencia Forense).

ESTUDIO DE DELITOS AMBIENTALES

238

La geología y edafología forenses no se ciñen exclusivamente al cotejo de muestras para descubrir un asesinato, desde hace pocos años amplían su acción al esclarecimiento de delitos ambientales.

La calidad del aire, suelo y agua están debidamente reglamentados de manera que las leyes prohíben o reducen la presencia de ciertas sustancias. Cuando se produce un vertido tóxico a un río o a un suelo o se fumigan las cosechas con un biocida cuyo uso está prohibido y su aplicación entraña riesgos para la salud humana, para los animales o para el ecosistema, los geólogos (y edafólogos) forenses son los encargados de muestrear, detectar y cuantificar el vertido o las emisiones de xenobióticos al medio con el fin de garantizar el cumplimiento de la ley y evitar en lo posible un desastre ecológico.

Existe numerosa y actualizada bibliografía al respecto, a nivel gubernamental (Agencia Europea de Medioambiente, EEA, y Agencia de Protección Ambiental, EPA), judicial (*United States Department of Justice*), toxicológico, médico, de análisis químico (*Analytical Methods Committee*), etc.

Así, enlazando los conocimientos de partículas emitidas por el tráfico rodado, ya visto en el apartado anterior de este capítulo, como partículas raras, surge el estudio de ciertos elementos que se acumulan en las proximidades de las carreteras y que resultan altamente tóxicos: los del grupo del platino PGE (platino, rodio y paladio), el de los isótopos de plomo o el caso de verduras regadas con las aguas de escorrentía de las carreteras cargadas con metales pesados (Pb procedente de las gasolinas y Cr, Cd, Ni, Zn o Cu de las pinturas, galvanizados, cromados y baterías).

Los metales pesados y elementos traza en suelos se vienen estudiando desde la segunda mitad del siglo pasado, hoy en día se conoce el comportamiento y la dinámica de los mismos en el medio edáfico (Csuros, 2002). Los estudios más recientes se basan fundamentalmente en la especiación (fraccionamiento secuencial) de los mismos según sus asociaciones con distintos componentes edáficos. Es importante conocer la fracción más disponible del metal, la que es potencialmente más tóxica por ser la que más fácilmente interactúa con los

microorganismos, la que se conoce como biodisponible. Un ejemplo de desastre ecológico es el vertido de lodos ácidos en Aznalcóllar (Aguilar *et al*, 2003).

Un caso especial de contaminación por metales es la producida por el aluminio. El Al está ligado al proceso de lluvias ácidas que causan acidificación del suelo, defoliación de árboles, eutrofización de aguas y muerte de peces. Dentro del proceso de acidificación del suelo, destaca la pérdida de nutrientes y el aumento de Al soluble que a determinados niveles es tóxico para las plantas.

En el caso de estudios de contaminantes orgánicos, se ha producido un avance considerable tanto en métodos de extracción del producto (generalmente biocidas) en suelo, agua o frutos, como en detección y cuantificación. Respecto a la cuantificación, se ha logrado trabajar con cromatógrafos sensibles a la detección de 10^{-12} gramos de sustancia buscada. El hecho de descender a límites tan bajos de concentración no es caprichoso, muchos productos del metabolismo de los biocidas son más tóxicos que el propio producto y se encuentran en el medio en contenidos muy inferiores al producto aplicado. En ocasiones, los subproductos que aparecen en la cadena de producción de biocidas, especialmente los clorados, son de muy alta toxicidad. La aparición de dioxinas y furanos en la industria de la fabricación de productos clorados es un hecho constatado durante la producción del agente naranja, ácidos 2,4 y 2,4,5 di y tricloro fenoxiacético, defoliante empleado en la guerra de Vietnam. Las dioxinas y furanos también pueden producirse en plantas incineradoras y cementeras, cuando la combustión de los residuos es incompleta. Los compuestos orgánicos policlorobifenilos, PCB, que se han venido utilizando en estaciones eléctricas son igualmente muy tóxicos.

La toxicidad de tales productos obliga a determinar la presencia de subproductos en el medio a niveles muy bajos. Los compuestos orgánicos persistentes COP, incluidos en el Convenio de Estocolmo y conocidos como la «docena sucia» son sustancias cloradas que se clasifican en 3 categorías: pesticidas, productos químicos industriales y subproductos no producidos intencionadamente.

Existen otros compuestos orgánicos muy tóxicos y persistentes: los polibromados, empleados como retardantes de llama en ordenadores, fibras y textiles (Fabrellas *et al*, 2004). Algunos compuestos orgánicos derivados del naftaleno y del pireno, cuya presencia se ha detectado en lodos de depuradoras, son también muy peligrosos, incluso a baja concentración. Igualmente se investigan las posibles fugas de petróleo y derivados en oleoductos, refinerías y estaciones de servicio, su presencia en el suelo y su posible paso a la planta en zonas de cultivo supone riesgos para la salud.

Otros productos que se han empleado en importantes cantidades han sido los pesticidas organofosforados. Resultaban mucho menos persistentes, pero algunos son tan tóxicos que se han empleado como arma de guerra, como acción terrorista en el metro de Tokio, o como arma disuasoria para contrarrestar la acción terrorista de la guerrilla chechena en un teatro de Moscú. Un ejemplo de herbicida organofosforado muy empleado en la actualidad es el glifosato. Es muy soluble y apenas persistente en suelos, su capacidad herbicida es enorme y lo peor es que no es selectiva. Se ha empleado para defoliar cultivos de coca en

Colombia. Al tiempo que se produjo la ruina de la cosecha de coca se perdieron cultivos de frutales y hortalizas que no tenían que ver con los cárteles de la droga. Este hecho fue motivo de lucha en los tribunales.

Todo vertido o fuga de producto que llega al suelo puede sufrir escorrentía y llegar a aguas superficiales. Cuando el vertido penetra en las capas más profundas del suelo puede alcanzar las aguas subterráneas. Con concentraciones de hidrocarburos totales del orden de partes por millón inutiliza el agua para uso de boca. Por lo que siempre que se sospeche la existencia de una fuga o vertido en el suelo, se ha de investigar la presencia de esas sustancias en aguas superficiales o subterráneas próximas al emplazamiento supuestamente contaminado.

Actualmente la investigación de contaminantes orgánicos se centra en el estudio, detección y cuantificación de compuestos polifluorados que, al igual que otros productos polihalogenados, son muy tóxicos.

El suelo puede contener elementos causantes de radiaciones naturales y de origen antrópico producidas por residuos radiactivos o por accidentes nucleares. El estudio y cuantificación de elementos en el suelo mediante espectroscopia gamma es otro posible objetivo dentro del estudio de delitos ambientales. El caso más grave de contaminación por elementos radiactivos procedentes de un accidente sucedió en Ucrania, en la central nuclear de Chernóbil en 1986.

En aguas, se puede cuantificar la radiación natural o antrópica, los metales, los hidrocarburos, los pesticidas y otros productos de origen orgánico, los detergentes y disruptores de hormonas y otros parámetros, algunos biológicos. Valores por encima de los niveles legislados anulan la potabilidad del agua.

Siempre que haya sospecha fundada de vertido o fuga de cualquier sustancia potencialmente contaminante en un suelo o cauce debe ser motivo de estudio por geólogos o edafólogos forenses, ya que la violación de las leyes ambientales constituye un delito ecológico. Es aconsejable la actuación de personal experto porque la contaminación del suelo requiere un muestreo que no sea exclusivamente superficial sino que se amplíe al resto de horizontes del perfil. Si la contaminación es en un cauce, dependiendo del flujo y del caudal del río, habrá que muestrear a determinadas distancias del punto de vertido y no sólo en él. Si la contaminación se produce en un pozo, el muestreo debe realizarse a lo largo del cauce subterráneo, buscando la red de pozos del mismo cauce. Además de localizar correctamente los puntos de muestreo, es necesario mantener las pruebas en óptimas condiciones y, como en el caso de los suelos, en recipientes adecuados.

ESTUDIO DE CASOS

Todo lo indicado anteriormente no tendría validez si no pudiera ser empleado por el estudio pericial de suelos. Gracias a técnicas cada vez más sofisticadas y concluyentes se han podido esclarecer muchos casos. Daugherty (1997, XIII Simposio de la Ciencia Forense) investigó el siguiente caso: en noviembre de 1989,

un avión que volaba de San Diego (California) hacia Ruidoso (Nuevo México) se estrelló momentos antes de tomar tierra. La investigación del accidente reveló la existencia de material biológico y suelo en el sistema de carburante de un motor. El principal objetivo de la investigación era determinar la causa del accidente. Los demandantes denunciaron la acumulación del suelo en vuelo como causa del accidente. El estudio de las pruebas mediante SEM-EDX y rayos X indicó que el material encontrado en el depósito tenía las características de los silicatos. La defensa indicó que el suelo se había acumulado después del accidente mientras los restos estaban expuestos a la intemperie en la zona de almacenaje. Muchos de los restos estaban cubiertos de barro cuando los demandantes tomaron las muestras para investigar el suelo acumulado en el depósito. El suelo encontrado en el depósito resultó ser similar al de la zona de almacenaje. Además, el avión sufrió fuego intenso después del choque, el suelo que estuviera en el avión tendría que haber soportado muy alta temperatura por lo que se habría oxidado y enrojecido. El suelo de la zona de almacenaje, el de la zona del accidente y el de un área de Montana donde el avión había aterrizado en una pista sin pavimentar, se expusieron a temperaturas superiores a 1.000 °C volviéndose de color rojo. El suelo del depósito no estaba enrojecido, aunque un trozo pequeño adherido a la parte exterior de los restos mostraba ese color, sugiriendo su exposición a fuego intenso después del accidente. Se concluyó que las partes del motor se contaminaron después del accidente, y que la acumulación de suelo antes del accidente, como complemento o alternativa a la contaminación biológica, no tenía explicación viable. La causa del accidente no se debió al suelo acumulado en el depósito de combustible.

El primer ministro italiano Aldo Moro fue secuestrado cuando se dirigía al Parlamento. A los pocos días, en el mes de mayo, se descubrió su cuerpo en el maletero de un coche. Los resultados de la investigación se hicieron públicos después de 20 años. Lombardi (1999, XIII Simposio de la Ciencia Forense) investigó las pruebas encontradas en las ropas, calzado y coche del primer ministro. Estaban constituidas por arena, betún, material vegetal y fragmentos de poliéster. El estudio de la arena identificó este resto con el de una playa próxima a Roma. El estudio del material vegetal sugirió que el cuerpo había sido transportado en un periodo de tiempo cercano a la muerte. El polímero de plástico, similar al empleado en los cascos de barcos, se encontró bajo las uñas, en los neumáticos e interior del coche y en las suelas de los zapatos, por lo que reforzó la idea de la estancia de Aldo Moro en las proximidades de una playa. El estudio de pólenes demostró que la adhesión de suelo volcánico en las defensas del coche era anterior a la adhesión de arena.

Se podrían enumerar muchísimos casos más. La ciencia forense ha tomado auge en los últimos años, muchas películas y series de televisión tienen en esa disciplina su razón de ser. Desde este capítulo se propone una página que resulta muy completa: indica asociaciones, enlaces con otras páginas webs y referencias de libros y publicaciones relacionados con la Ciencia Forense. Pertenece a la Universidad Estatal de Michigan, Estados Unidos: www.lib.msu.edu/harris23/crimjust/forsci.htm

9

PALINOLOGÍA Y ENTOMOLOGÍA FORENSE

Marzia Boi

Profesora Asociada en la Universidad de las Islas Baleares

Miguel Capó Martí

*Profesor del Departamento de Toxicología y Farmacología. Facultad de Veterinaria.
Universidad Complutense de Madrid*



PALINOLOGÍA FORENSE

La botánica en sentido amplio constituye hoy en día una herramienta de apoyo a la investigación criminal, y las pruebas botánicas pueden contribuir a esclarecer casos y ayudar en investigaciones legales. La primera prueba botánica con validez legal, que llevó a la incriminación de Bruno Hauptmann en 1935, fue utilizada en una corte de los Estados Unidos por el hallazgo de venas de madera procedentes de una escalera que fue empleada en el secuestro de Charles Lindbergh.

En la actualidad, la botánica comprende numerosas subdisciplinas, como la palinología, la anatomía, la dendrocronología, la limnología sistemática, la ecología y la biología molecular.

La rama de la botánica que investiga los granos de polen (que contienen las células sexuales masculinas, útiles en la reproducción de las plantas) se llama palinología. La estructura de los granos de polen, constituidos por una de las sustancias más resistentes que se conocen en la naturaleza (esporopolenina), permite su aplicación tanto en los pólenes actuales como en los fósiles, abarcando también las esporas u otros microorganismos ácido-resistentes, como los dinoflagelados, los acritarcos y los quitinosos.

La palinología forense es una aplicación de la palinología que, como tal, es una ciencia consolidada desde hace más de un siglo.

La palinología es una materia multidisciplinar que ofrece una amplia posibilidad de respuestas y, por este motivo, ha encontrado en el último siglo un gran número de aplicaciones, tales como reconstrucción paleoambiental, contextos arqueológicos, calidad del aire y de los alimentos, geología, biología, medicina legal, etc.

Erdtman, en la obra *Handbook of Palynology* (1969), nos habla de la palinología forense, analizando dos casos de finales de los años 50.

El primer caso es el de una mujer muerta durante el mes de mayo en un viaje por Suecia: el análisis polínico se reconstruyó para entender si la víctima había sido asesinada en el mismo lugar del hallazgo. Se examinó el polvo recogido de los vestidos de la víctima y las pruebas polínicas fueron discutidas durante el proceso. El polen contenido en el polvo ayudó a obtener dos informaciones: 1. la mujer tenía que haber sido asesinada en otro lugar porque su ropa no contenía plantas de las especies comunes en el área del hallazgo (como *Plantago*, *Rumex* y gramíneas), y 2. el asesinato pudo ocurrir un tiempo antes de comenzar a florecer las especies herbáceas de la zona, evento posible en mayo, hecho que se revelaba de la ausencia de polen en los vestidos examinados. La evidencia polínica entonces no sirvió para esclarecer el caso, que todavía hoy no ha sido resuelto, sin embargo, hay que señalar su importancia ya que fue el primer caso de palinología forense llevado a los tribunales.

El segundo caso, en cambio, tiene en el polen el indicio clave de la solución del mismo. Un hombre, en un viaje a lo largo del Danubio, desapareció en los alrededores de Viena. La policía localizó a un sospechoso que tenía motivos para matarle. A falta de una confesión y del cuerpo de la víctima, el caso estaba desti-

nado a ser archivado. Después de una inspección de la casa del sospechoso, los investigadores descubrieron un par de botas con barro y confiaron la muestra a un geólogo palinólogo (Wilhelm Klaus). Éste realizó análisis polínicos en el barro, halló polen de abeto (*Picea*), sauce y alisos, además de polen del Holoceno (20 millones de años atrás). Gracias a estos elementos, el palinólogo consiguió indicar a los investigadores una pequeña área a 20 km de Viena en la que había suelos con esta composición polínica (de pólenes antiguos y contemporáneos). Frente a esta evidencia el sospechoso confesó el crimen, indicando el lugar en el que había matado y sepultado al hombre desaparecido, que estaba en la misma área indicada por el palinólogo. Esta vez, el polen fue el elemento clave para llevar al sospechoso a la confesión y al descubrimiento del cuerpo de la víctima.

Los primeros simposios internacionales dedicados a la palinología forense se han celebrado en 2004:

1. XVII ISFS (*International Symposium on the Forensic Sciences*) en Wellington.
2. XI IPC (*International Palynological Congress*) en Granada.

Estos simposios, que se ocupan de difundir la materia a otros países, han sido organizados por los expertos Mildenhall, Bryant (ambos de Estados Unidos), Wiltshire (Inglaterra) y Milne (Australia). De estos congresos llegan los numerosos ejemplos y aportaciones concretas de la contribución de la palinología a las investigaciones forenses.

Mildenhall introduce la técnica del *crime-solving* a principio de los años 60 en Nueva Zelanda, técnica que se emplea de forma habitual, y en 1982 crea el término de palinología forense. Desde hace más de 25 años la investigación polínica es aplicada habitualmente, aunque es más importante en Australia, en los Estados Unidos o en Inglaterra, donde es prueba casi rutinaria. También en Italia se practica hace años por las investigaciones de Bertolani, directora del Jardín Botánico de Módena y fundadora del Laboratorio de Palinología de Módena a comienzos de los años 80. Bertolani difundió el término criminopalinología, utilizado también en otras disciplinas: aero, meliso o arqueopalinología, para subrayar la base teórica y la metodología común de la palinología. Travaglini, de la Universidad de Tor Vergata de Roma, ha organizado dos importantes encuentros: el XI Congreso Nacional de la Asociación Italiana de Aerobiología (Parma, 2006) y La Palinología Forense: metodologías y perspectivas (Roma, 2007).

El último congreso, el XVI Simposio APLE (Asociación de Palinólogos de Lengua Española) celebrado en Palma de Mallorca, ha incluido la palinología forense por primera vez en su edición.

En la editorial de los simposios de Wellington y de Granada, Mildenhall (2006a) subraya que la palinología posee principios, metodologías y aplicaciones desarrollados durante más de un siglo de investigaciones que la rinden apropiada para incluirse entre las Ciencias Forenses.

Su objeto de estudio es la microscópica partícula liberada durante la reproducción de todas las plantas, el polen, que permite localizar el origen botánico o geográfico de objetos hallados, sobre los cuales se puede responder a la pregunta *¿dónde?*

Además, permite identificar la estación en la que el polen se ha depositado sobre los objetos y responder a la pregunta *¿cuándo?*

Por las mismas propiedades del polen, es posible entender la potencialidad de la palinología en su aplicación a las Ciencias Forenses. El polen es la huella de la planta que lo ha producido y por esto cada polen es importante, funcionando como las huellas digitales en el escenario de un crimen o en otro tipo de investigación.

Mildenhall escribe que el polen no suele dejar manchas visibles en la ropa, pero no por eso tiene que considerarse como prueba no relevante. El polen no se ve a simple vista y por esto es la marca, el sello escondido y a veces comprometedor, válido para víctimas, sospechosos, materiales y objetos, como coches, casas, etc.

Extraordinariamente, lo que constituye su más importante relevancia, como que podamos encontrar millones de granos en una cucharita, en nuestros cabellos, debajo de una uña, en las fisuras de algún objeto, etc., es también su gran limitación.

Que el polen sea microscópico y que se difunda en el ambiente, lo convierte seguramente en la parte vegetal más común y abundante (Erdtman). Cuando el polen se suelta de los estambres masculinos, en particular de las anteras, es liberado por las plantas con semilla (*Spermatophyta*) y comienza la fase de transporte, que depende de factores endógenos y exógenos, alcanzando a recorrer largas distancias, según el tipo de polinización de la especie, antes de depositarse en un lugar determinado.

Las plantas anemófilas y zoófilas son especialmente interesantes en la palinología forense: si la planta es anemófila, su polen es producido en cantidad abundante como lluvia polínica en un área determinada, y si es zoófila, el polen es producido en cantidades inferiores y transportado por vectores más específicos que intentan no perder el mismo durante su transporte. Por tanto, el polen anemófilo es más abundante y útil para reconstruir un ambiente, en cambio, el polen zoófilo puede ser un marcador mucho más valioso y preciso, ya que aporta datos sobre el contacto de la planta con el vector humano (sospechoso o víctima, por ejemplo).

Un agresor en Nueva Zelanda fue inculpado gracias a una *Hypericum* en flor que estaba justo debajo de la ventana desde la cual se introdujo en la casa (Mildenhall, 2006b). Se examinó la ropa del agresor y se realizó un análisis polínico en busca de la presencia de polen de hipérico que se halló en la chaqueta (24%), en la camiseta (28%) y en los pantalones (14%). La presencia de este polen se encontró en las partes de la ropa que habían estado en contacto directo con la planta. En este caso, la comparación de los granos de hipérico de la ventana y los de la ropa del sospechoso dio como resultado el esclarecimiento de los hechos, ya que en la ropa no se encontraron otras trazas de las especies del área. Este indicio, junto al reconocimiento del ladrón por parte de la víctima, ayudaron a la imputación del mismo.

En un caso de homicidio en Reino Unido el polen de nogal fue un indicio fundamental. El polen hallado en los sospechosos no se correspondía con la vegetación propia del lugar, sin embargo, una de las investigaciones descubrió una importante información: en un lugar determinado se había talado un nogal 80 años antes. El polen se conservó en el suelo y se transfirió a los culpables durante el crimen. Este árbol se convirtió en testimonio clave de los hechos a través del polen, permitiendo: 1. la indicación exacta del lugar del delito y 2. documentar la presencia de los sospechosos en el mismo.

Los trabajos de palinología forense habitualmente no relatan de la mejor forma los métodos empleados en los casos reales, sin embargo, sus aplicaciones son fundamentales para otorgarle un valor científico.

Existe un amplio abanico de materias a las que puede aplicarse los estudios de palinología forense. Por ejemplo, en las investigaciones sobre el origen del carbón o del aceite, o en hallazgos de drogas u otros materiales embalados, en los que las cintas adhesivas de papel pueden ser sitios idóneos para hallar polen.

Otro producto objeto de análisis del polen contenido es la miel. Ésta procede del néctar de plantas específicas y supuestamente se produce en lugares geográficos concretos, que aparecen en la etiqueta del producto. Para confirmar el lugar de procedencia puede realizarse un control polínico, para ver si coinciden las especies vegetales propias del lugar, descartando posibles fraudes (Boi *et al.*, 2008).

Otros objetos de estudio pueden ser: cuerpos, ropas, tierra, resinas, sustancias varias, etc.

Los métodos de muestreo y tratamiento son tantos como los diversos objetos investigados (personas, recipientes, coches, ambientes, etc.) y los materiales que los componen.

Existen trabajos específicos de metodologías que describen pruebas de muestreo de distintos lugares o que simulan casos criminales.

La simulación de situaciones de lucha, escape, transporte o contaminación de polen en situaciones controladas (vegetación, estación del año, acciones...) constituye un instrumento de referencia útil para interpretar hechos concretos. Es un ejemplo el estudio en 9 caballos de la Comunidad de Madrid, de los cuales se recolectaron restos de unos pocos gramos de pelos y trozos de pezuña, que se procesaron para hallar pólenes. Estas averiguaciones han reflejado claramente la vegetación y el ambiente donde el animal vivía (Boi *et al.*, 2008).

El muestreo de polvos o tierras es similar a la recolección de otras metodologías polínicas.

Las técnicas de recolección en indumentaria, tejidos o partes del cuerpo son, sin embargo, más problemáticas. Las dos metodologías más frecuentes son:

- a) Recolección con cintas de sustancias adhesivas (aceite de silicona o de oliva) que se adhieren o golpean contra las partes muestreadas, y después se montan con glicerogelatina en portaobjetos.
- b) Recolección por aspiración durante las simulaciones.

Antes de recolectar la muestra para efectuar el método palinológico hay que tener en cuenta que:

1. El muestreo tiene que ser cuidadoso y amplio, sobre diferentes muestras de objetos a estudiar (cuerpos, coches, objetos varios...) y sobre muestras de los alrededores ambientales, que nos sirven como muestras de control (de áreas limítrofes a las que hay que investigar).
2. El muestreo tiene que evitar cada tipo de contaminación, por ejemplo el de los pólenes aéreos que puedan estar en la atmósfera durante la recogida de muestras, que en este caso serán pólenes extraños que no tienen nada que ver con los que están sobre los objetos y ambientes que se quieren examinar. La contaminación es normalmente evitada por los palinólogos en las fases de muestreo y tratamiento hasta la fase de preparación de los portaobjetos, por ejemplo a través del conocimiento de las distintas épocas de floración de las especies halladas.
3. Por ello, quien se ocupa de la palinología tiene conocimientos sobre la complejidad de los materiales y sobre las distintas problemáticas que quepa considerar. La formación de una muestra puede ser debida a varios elementos y la interpretación de los resultados tiene que estar ligada a un contexto concreto, fruto de la interpretación atenta y precisa.

El palinólogo debería tener siempre el conocimiento concreto del lugar donde han ocurrido los hechos o de los lugares útiles para la comprensión de la dinámica del hecho. Cuantas más informaciones posea el palinólogo sobre las situaciones en las cuales se ha formado/depositado la muestra objeto de estudio, mejor podrá formular resultados e interpretaciones válidas, que serán de ayuda efectiva a otro tipo de análisis.

Los análisis comprenden varias fases: tratamiento y recolección de las muestras, examen y búsqueda al microscopio, estudio de la lista florística, elaboración de los resultados, averiguación de todas las informaciones relacionadas e interpretación. El desarrollo riguroso de cada fase es fundamental para el éxito de los análisis. La identificación polínica tiene que estar respaldada por 2 factores:

1. Adecuada competencia en el ámbito botánico y, sobre todo, en la identificación palinológica para la correcta compilación de la lista florística, que a su vez será transformada en porcentajes-concentraciones (espectro polínico). Es importante tener en cuenta algunos factores, como son los distintos tipos de producción polínica por parte de los vegetales, su dispersión (por viento o por animales) y los posibles agentes de transporte polínico.
2. Poseer una ordenada colección ya preparada de pólenes en portaobjetos (palinoteca). Hoy en día existen atlas morfológicos, algunos muy específicos, de especies endémicas (Boi y Llorens, 2007) o de claves polínicas, y páginas webs que pueden servir de ayuda para reconocer granos de polen de áreas geográficas diversas, aunque es un trabajo que requiere mucho tiempo y de una persona muy especializada. De todas formas, la observación directa de fotografías no es suficiente: raramente ellas solas

permiten el reconocimiento de la variabilidad en la gran morfología polínica, sus anomalías y deterioros.

De las variadas muestras polínicas, además, cabe interpretar el significado totalmente distinto según si ha sido recolectada en un lugar abierto (bosque, descampado, ciudad, etc.) o cerrado (casa, coche...), por ejemplo, será diferente muestrear las partes externas de un coche o sus alfombras que las que provienen de partes concretas de un cuerpo. Por las prácticas de higiene diaria de las personas, los granos de pólenes nunca se irán acumulando en grandes cantidades sobre su cuerpo, existiendo zonas donde éstos se acumularán mayormente, como son los cabellos, las uñas o las fosas nasales (Montali *et al.*, 2006). En un caso concreto, sobre una víctima se encontraron muchos pólenes de plantas de ambientes húmedos: este hecho, unido a las partes donde se halló (glúteos y espalda), hizo suponer que la víctima se había caído en suelos cerca de un río.

El segundo punto de las problemáticas que tiene que afrontar el palinólogo es la existencia de muestras polínicas contaminadas, no continuas o mixtas, por la aportación de materiales diversos, tanto aéreos como antrópicos, o de momentos posteriores al momento concreto que se quiere esclarecer.

El hallazgo en la misma muestra de pólenes en distinto estadio de conservación (frescos, de la propia época de floración, vacíos de contenido celular, de una época de floración anterior a la del momento de fotografiar...) es bastante frecuente. En el pasado, se han interpretado como la indicación de distintas llegadas cronológicas o geográficas. Puede ocurrir que se identifiquen granos de pólenes con distintos estadios de conservación (afinado, desgastado o degradado), y que en la misma muestra estén algunos bien conservados y otros estropeados, frescos o libres de citoplasma. Así, también el estadio de conservación puede revelar informaciones añadidas que hay que tener en cuenta junto al listado polínico.

Un ejemplo de palinología forense lo constituye un análisis de cocaína realizado en un laboratorio de Nueva York por Stanley, que estudia el reconocimiento morfológico y observa la exina y el citoplasma de los gránulos polínicos encontrados (Bryant y Jones, 2006). En base a 2 criterios: lista florística y estado de conservación, se reconocieron 3 grupos polínicos separados en el interior del espectro polínico de una misma muestra:

- a) Un grupo de pólenes era originario de Bolivia y Colombia, de especies que se desarrollan por debajo de los 2.000 metros (de un área no identificable por falta de atlas de América Latina). Estos granos estaban en mal estado de conservación y no contenían citoplasma, así, se supuso que los pólenes de este grupo tenían que estar presentes en las hojas de coca durante los procesos de recogida de éstas y expuestos ellos también al tratamiento de keroseno con ácido sulfúrico, prensado y luego traspasado a bañeras con cal.
- b) Otro grupo incluía especies subárticas de pino o tsuga, propias de las regiones norteamericanas, entre Estados Unidos y Canadá, haciendo deducir que la cocaína en un momento dado había estado expuesta en estas regiones, llevando a suponer que se había realizado algún tipo de contrabando en Norteamérica, por vía aérea, y aquí cortada por primera vez.

- c) El tercer grupo incluía polen de plantas de entornos humanos, ornamentales, propias de ciudades (quenopodios, compuestas, gramíneas, encinas, etc.). Esta vez, la introducción de este polen en la muestra se debe al corte de la cocaína antes de la distribución final.

Efectuar un análisis palinológico sin conocer el material en el cual se incluye el polen, en definitiva, limita la investigación porque la matriz que lo incluye puede conservarlo o, al contrario, deteriorarlo. Raras veces el palinólogo podrá contestar a las preguntas si no conoce la naturaleza de la muestra.

El estudio del origen de la droga es uno de los campos que más se aprovechan de la palinología forense. En Italia por ejemplo, es bastante común realizar análisis palinológicos para estudiar el recorrido de la droga: el área geográfica de producción (área mediterránea), el ambiente de cultivo (agrícola, escondido entre campos de maíz) y el periodo de recolección del cáñamo (primavera y verano). Si los distintos lotes tienen puntos comunes en los espectros polínicos, es posible intuir que los paquetes llegan de la misma partida de droga.

Para demostrar la importante ayuda de las propiedades naturales del polen en las investigaciones forenses, explicamos un caso ocurrido en Nueva Zelanda. La resistencia, especificidad y carácter microscópico de los pólenes han sido relevantes para confirmar un caso de cultivo hidropónico de cannabis en un edificio. Los sospechosos para no dejar huellas cambiaban el cultivo de lugar. Se practicaron muestreos y análisis polínicos en puntos concretos de un edificio abandonado hace 5 años donde se creía que se había cultivado el cáñamo. Las investigaciones entre las vigas y la línea de electricidad revelaron la existencia de un almacenamiento de cáñamo. En las zonas exteriores no se encontró ningún tipo de polen de cannabis, lo que determinó que el cultivo tenía que haber sido en el mismo edificio.

Debemos encontrar nuevas investigaciones y aplicaciones para la palinología forense que no sólo sean aplicables a la materia forense. Éstas han de llegar en forma de conocimiento a los investigadores y médicos legales, comenzando por la palinología como pura ciencia de estudio morfológico y adaptándose sucesivamente a la arqueopalinología (polen en yacimientos), melisopalinología (polen en mieles) y aeropalinología (polen en la atmósfera).

Si consideramos las bases teóricas y prácticas de las que se ha hablado hasta ahora, parece claro que la diferenciación entre las varias ramas no existe, por esto es probable que el palinólogo que posea una múltiple experiencia en varias ramas sepa con más facilidad reconocer e interpretar las situaciones complejas que estarán presentes en los estudios de los casos forenses.

Un claro ejemplo es el del reconocido palinólogo Bryant, que comenzó como melisopalinólogo, desarrollando su experiencia en el campo forense con controles de fraude sobre el origen geográfico de mieles. Como es sabido, la productividad agrícola depende de la polinización entomófila, por eso en América en los años 70 se sustentó económicamente a todo apicultor que tuviera colmenas cerca de frutales. Para integrar las pérdidas económicas de los apicultores que aceptasen el encargo, el gobierno federal adquiría partidas de miel a precio más alto que el del mercado. Los fondos destinados a solventar las

pérdidas de los apicultores se podían repartir exclusivamente a mieles producidas en Estados Unidos. En 5 años de análisis, el 6% de las mieles controladas resultaron haber llegado de Centroamérica (Bryant y Jones, 2006).

El polen anemófilo es producido en grandes cantidades y éstas causan el fenómeno de las lluvias amarillas. En nuestro clima, como por ejemplo en las Islas Baleares, es conocida la del *Pinus halepensis*, que produce mucha cantidad de polen durante el comienzo de la primavera.

En América, una refinería de petróleo de Canadá (Mathewes, 2006) encargó repetidos análisis microscópicos del polvo amarillo que se depositaba en ventanas y coches de las zonas habitadas en épocas concretas. Este evento era recurrente en los meses de marzo y abril, justo en el periodo de polinización de muchos árboles de la zona habitada. Los ciudadanos estaban preocupados de si era azufre derivado del polvo de la industria. Los análisis mostraron que todo el polvo que se acumulaba era polen de los árboles, incluido el del aliso rojo (*Alnus rubra*).

Otra vez en Canadá, durante los años de la Guerra Fría, una lluvia amarilla sobre la superficie de un lago hizo temer los efectos de un posible escape radioactivo. Las fuerzas de seguridad pidieron investigar de dónde procedía y los análisis revelaron que se trataba de polen de coníferas.

La relación entre lluvia amarilla y armas químicas y/o biológicas se ha realizado en diversas ocasiones. De este modo, las lluvias en el sureste asiático han sido relacionadas con ataques con armas químicas y biológicas, alarmando a la población y a las fuerzas militares.

En un primer caso, bastante controvertido por cuestiones militares y considerado no resuelto, una lluvia de polvo amarillo durante la guerra del Vietnam fue declarada responsable de muchas muertes entre la población. Hemorragias y otros efectos, también letales, se atribuyeron a micotoxinas tricotecenos, producidas por hongos patógenos de los cereales y peligrosos para el ser humano, como los *Fusarium*, que vivían también en zonas de sureste asiático.

En 1982, el científico inglés Porton examinó por primera vez la lluvia amarilla bajo el microscopio y encontró que estaba formada también por polen. Los análisis de Porton fueron confirmados por los laboratorios de defensa americana. Este mismo año se concluye que la lluvia amarilla era una mezcla de micotoxinas, disolventes orgánicos y polen; éste había sido útil como medio de transporte de las toxinas hacia los pulmones (aerosol después de la fase húmeda).

En 1983, un botánico de Harvard observó que el polen encontrado en la lluvia amarilla era autóctono, originado por plantas entomófilas visitadas por grandes abejas asiáticas. También estudió las trazas aceitosas encontradas después de la lluvia polínica y reconoció que eran los excrementos de las abejas. El examen con microscopía electrónica confirmó el contenido polínico con los excrementos de las abejas. El polen estaba muy concentrado para estar simplemente aerodisperso por las plantas, estaba vacío, es decir, digerido. Además, en cada mancha se encontraban más de 20 tipos de pólenes diferentes y cada mancha tenía una composición distinta: la variabilidad es un índice claro del evento natural, además este tipo de polen no vuela fácilmente y tampoco es viable que pueda ser inhalado.

La morfología y contenido polínicos convencieron a los científicos de que se trataba de los desechos de las abejas gigantes asiáticas (*Apis dorsata* Fabricius). Este tipo de abejas construyen panales de grandes dimensiones y, durante la puesta de sol, vuelan depositando grandes cantidades de excrementos sobre cualquier superficie alrededor del panal. Desde el punto de vista ecológico, la gran cantidad de sustancia orgánica de estos desechos depositada sobre tierra u hojas posee la doble acción de ser un fertilizante del suelo y de actuar como termorregulador de los panales, visto que disminuye la temperatura del lugar.

Eventos de lluvia amarilla debidos a excrementos de abejas se repiten esporádicamente en Asia. Otro ejemplo de lluvia amarilla-verde ha ocurrido a mediados de junio de 2002 en Sangrampur (India).

Dejando de lado las problemáticas de seguridad internacional, otro de los objetivos principales del análisis polínico es verificar la relación entre el sospechoso y la escena del crimen o la escena del hallazgo.

Existen otras partículas microscópicas biológicas que son de ayuda para esclarecer un acto, como son algas y esporas, o de más grandes dimensiones, como semillas, astillas, etc.

Un ejemplo de cómo se pueden emplear se relata a continuación. Un hombre durante una agresión cerca de un río, se deslizó con su agresor desde la orilla hasta dentro del mismo. Los exámenes de la ropa del sospechoso, de la víctima y del suelo de control del lugar revelaron la presencia de quistes de algas y de palinomorfs comunes en la orilla del río. Esta relación con el lugar de la agresión contribuyó a que el agresor confesara.

Los granos de pólenes, así como otros indicios, rinden posible hallar las pruebas útiles e indisputables que permiten acertar la relación entre el sospechoso y un objeto de la escena del crimen.

En Glasgow (Escocia) la policía encontró cerca de un cadáver un pañuelo de hombre y un trozo de papel enrollado en el que había manchas de sangre de la víctima, pero no se localizaron huellas. El estudio del polen del pañuelo dio con la presencia de *Abutilon*, un género de malvácea poco común en Escocia; se trata de una herbácea cultivada y ornamental de flores vistosas, de venta en floristerías. Después de varias investigaciones, la policía encontró un florista que vendía *Abutilon* en un *pub* local. La policía descubrió dos hechos: 1. el papel empleado por el vendedor era el mismo encontrado en el lugar del crimen y 2. en el *pub* trabajaba una persona que podía tener motivos para matar a la víctima. El sospechoso confesó el crimen e indicó que había usado el papel de las flores para limpiar el arma del delito (Bryant *et al.*, 1990).

El polen también es útil para encontrar la relación entre un objeto hallado en otro lugar y la escena del crimen. Un lagarto de especie protegida fue robado del terrario de un museo, el cual contenía también muchos helechos. En el garaje del sospechoso fue encontrada una caja de madera que podía estar preparada para el transporte del animal. Del examen palinológico de la caja se hallaron esporas de helechos de la misma especie que la del terrario del museo. El sospechoso fue inculcado de robo y tráfico de especies protegidas.

En estos ejemplos, el polen ha permitido:

- a) Verificar la coartada.
- b) Restringir el círculo de sospechosos.
- c) Determinar el recorrido de objetos o mercancías (incluso de drogas).
- d) Aportar información del lugar de proveniencia (ambiente y área geográfica) de un objeto.

Un ejemplo distinto es el que nos cuenta el viaje de una manada de ovejas robadas cuando 300 de ellas desaparecieron de una granja y aparecieron en otra. Era necesario averiguar si eran las mismas. Por ello se examinó la lana de la cabeza y del abdomen de algunas. El polen encontrado en las ovejas aparecidas en la otra granja se comparó con muestras de la granja de donde presuntamente habían desaparecido. La lana proporcionó un conjunto de granos de pólenes completamente diferentes de los del lugar donde aparecieron las ovejas y más similar a los del lugar del robo. Con esta prueba se consideró que era razonable la denuncia del pastor.

El análisis polínico es también útil para:

- a) Ayudar a determinar los movimientos perimortem de la víctima.
- b) Ayudar a descubrir antiguas necrópolis o restos humanos.
- c) Contribuir a determinar la estación de deposición de los restos humanos.

Un importante trabajo de *Nature* demostró hace años estas posibilidades. En Alemania, durante las excavaciones para la construcción de un palacio en Magdeburgo en 1994, los operarios descubrieron una fosa común. Se hallaron 32 cuerpos de jóvenes muertos entre 1945-1960. El biólogo Szibor (1998) realizó la exhumación de los cadáveres para averiguar la época de muerte y de qué soldados se trataba. Szibor realizó el lavado de las cavidades nasales de 21 cuerpos buscando granos de pólenes difundidos en el aire en el momento de la muerte. 7 recolecciones contenían mucho *Plantago* y poca *Tilia* y *Secale*, plantas que florecen en junio y julio. Las víctimas tenían que estar muertas en verano, confirmando la hipótesis de que la fosa común contenía los soldados soviéticos de la organización Smersh, asesinados por la Gestapo después de la pérdida de Alemania.

En realidad, los expertos en palinología forense opinan que raras veces el polen puede dar información de la época de la muerte, porque existen muchas variables que entran en juego y es difícil acertar.

En lugares de interés arqueológico, los muestreos de pólenes bien efectuados con la ayuda del trabajo interdisciplinario permiten reconstruir el ambiente y el comportamiento humano del pasado, alcanzando resultados que no se pueden encontrar en otros objetos.

Otra característica que avala los interesantes indicios es que el polen es tan resistente a lo largo del tiempo que puede mantenerse inalterado, conservarse y ser reconocible durante mucho tiempo en substratos idóneos. Muchos arqueólogos, durante las excavaciones, se preocupan sólo de encontrar fragmentos

de restos botánicos grandes, ignorando la cantidad de polen y otras partículas microscópicas que se podrían recolectar, así en el escenario del crimen o sobre un objeto implicado.

La Universidad de Barcelona y la Universidad de las Islas Baleares siguen un estudio arqueológico de 70 momias de la Edad del Bronce halladas en la Cova d'en Pas (Menorca). Los controles polínicos en el contexto de la arqueología polínica serán determinantes para descubrir las costumbres y rituales funerarios de estos antiguos pobladores (Servera *et al.*, 2008).

Una correcta interpretación de las pruebas de origen botánico puede ayudar en las informaciones fundamentales sobre la escena de un crimen o sobre los detalles relativos al sospechoso, a una víctima u otros casos especiales.

Existen muchos más ejemplos de relación entre la palinología aplicada a la arqueobotánica y a las Ciencias Forenses. Así, por ejemplo, se habla de botánica paleoforense, término que se ha utilizado para el caso del cazador Ötzi, el hombre del hielo del Similaun, y otros estudios sobre individuos muertos en circunstancias desconocidas hace miles de años. Esta momia hallada en un glaciar de los Alpes italianos, con datación de 5.300 años, fue asesinada repentinamente desapareciendo entre la nieve hasta que se descubrió en 1991. En su cuerpo conservaba muchos granos de pólenes, esporas de musgos y hepáticas. En base a los análisis polínicos se ha descubierto que los últimos acontecimientos ocurrieron en primavera y que el viaje comenzó en los bosques caducifolios de carpes negros del sur; además, los pólenes de pinos hallados en el tracto digestivo, indican que subió a más latitud, donde se hallan los bosques mixtos de coníferas, hasta los últimos días de su vida. El conjunto de los análisis polínicos y botánicos ha revelado elementos útiles para llegar a conocer su dieta, la época estacional de la muerte (final de la primavera) y la procedencia (sur) (Roach, 2003).

Otro ejemplo de estudio polínico es el llevado a cabo en la sábana santa de Turín. Además del amplio elenco de pruebas que se le han realizado a la síndone, el criminólogo Frei de Zúrich, llegó a identificar 58 tipos de pólenes diferentes sobre la sábana. Geográficamente, estos tipos polínicos eran oriundos de áreas tales como el Mar Muerto, el Negev, la estepa de Anatolia (en el centro y oeste de Turquía), el entorno de Constantinopla y Europa occidental, pudiendo probar que la síndone recorrió varios lugares.

Nos podríamos preguntar por qué el polen, que es un útil referente en la palinología forense, no está entre los trabajos rutinarios de los laboratorios de la policía científica:

1. Unos de los motivos podría ser que la recolección de las muestras es un momento crítico: el palinólogo tiene que acudir a la escena del crimen junto a otros expertos para muestrear personalmente.
2. Otro problema es la poca bibliografía sobre la metodología de muestreo.
3. La cuestión monetaria: generalmente no existe financiación para el pago del palinólogo, que tiene que emplear mucho tiempo en recolectar y procesar los análisis.

4. Testificar, presentar un análisis polínico y evidenciar delante de un juez no es simplemente relatar un trabajo científico, se trata de un enfoque completamente distinto.
5. La discusión científica, los encuentros en congresos y el intercambio de informaciones por parte de los expertos ofrece la posibilidad de la confrontación entre palinólogos. La palinología forense tiene que entrar en las sedes donde se discute de palinología y, sólo de esta forma, encontrar las bases sólidas y científicas, construyendo una metodología que valide el análisis polínico en todos sus campos de aplicación.

ENTOMOLOGÍA FORENSE

La necesidad de conocer el intervalo de tiempo que ha transcurrido desde la defunción de un individuo es una prioridad cuando se investiga un homicidio o una muerte que se dio en circunstancias desconocidas o sospechosas. El obtener información oportuna y fiable es vital para incriminar o exonerar a las partes involucradas, de ahí deriva la importancia de la interpretación de la entomofauna asociada al cadáver, la cual puede ser ignorada por las autoridades que no la consideran como parte de la evidencia.

Hay centenares de especies de artrópodos que son atraídos por los cadáveres entre los cuales se encuentran dípteros, coleópteros, isópodos y nematodos, sin dejar de lado sus estados inmaduros; estos organismos pueden usar el cuerpo como fuente de alimento directa o para sus estados inmaduros después de la eclosión, como refugio o como lugar para la reproducción ya sea sobre o dentro de éste, todo esto dependiendo de sus preferencias o del estado de descomposición del cuerpo. Debido a que los artrópodos se encuentran ampliamente distribuidos y poco tiempo después de la muerte llegan al cuerpo, son útiles para determinar las circunstancias, lugar y tiempo desde el fallecimiento.

Mégnin estima en 8 días la duración necesaria para el nacimiento de las larvas; Balthazard afirma haber visto con frecuencia producirse tal nacimiento en la estación calurosa en menos de 48 horas y hasta en 24; añadiremos que las sarcófagas depositan en el cadáver larvas ya vivientes que comienzan inmediatamente su cometido.

Al cabo de una decena de días la larva ha alcanzado su completo desarrollo, por lo menos cuando la temperatura es propicia, saliendo entonces del cadáver, inmovilizándose y rodeándose de una concha quitinosa para transformarse en ninfa.

Después de la incubación que puede durar 6-30 días, según las condiciones atmosféricas, el insecto perfecto sale de su pupa y muy presto siembra nuevamente en el cadáver, si las generaciones precedentes no han consumido todas las partes blandas; alejándose de él, al contrario, si estas partes blandas han sido transformadas por la putrefacción en adipocira o en sustancia caseosa.

El ciclo completo del insecto puede alcanzar un mes aproximadamente. Mégnin remonta la muerte a un mes, cuando encuentra pupas vacías en un cadáver.

Balthazard indica que este ciclo puede operarse en una quincena de días en la estación cálida para las moscas azules y verdes, desde el momento de la puesta de los huevos hasta el instante en el que el insecto perfecto sale de la pupa.

Todos estos dípteros descritos se encuentran en cantidad considerable en los cadáveres abandonados al aire libre durante la estación calurosa, fuera de las habitaciones, en estado de insecto adulto, de larva o de ninfa; en un periodo más adelantado de la putrefacción no se encuentran más que las pupas vacías. Si los cadáveres han permanecido en una habitación, son sembrados casi exclusivamente por la *Calliphora vomitoria*, más excepcionalmente por la *Lucilia caesar*, si las ventanas han permanecido abiertas.

No hay moscas más que durante la estación calurosa, desde la primavera hasta principios de invierno; cuando llegan los primeros fríos, las ninfas, que no han terminado aún su evolución, sucumben; algunas hembras fecundadas se esconden en agujeros, donde pasan el invierno, adormecidas, y producen en la primavera siguiente las primeras generaciones de larvas y moscas.

Se podría afirmar que, si existen en un cadáver vestigios de dípteros, la muerte ha ocurrido después de marzo y antes de noviembre; pero ha de tenerse en cuenta la mosca azul, que permanece a veces en las casas durante el invierno y que puede sembrar el cadáver de un sujeto que ha sucumbido fuera de la estación calurosa.

Si bien las especies descritas anteriormente son las que más frecuentemente se encuentran en los cadáveres, no son las únicas de los cuatro géneros estudiados, encontrándose también la *Sarcophaga arvensis* y la *Sarcophaga laticrus*.

El *Dermestes lardarius*, gran destructor de las carnes saladas y de las pieles, cuya talla es de 7 mm, reconocible por 3 puntos negros en la mitad anterior de los élitros, de color rubio claro; su larva tiene 10 mm de longitud y presenta anillos de un castaño rojizo provistos de largos pelos.

Otras 2 especies de *Dermestes* frecuentan también los cadáveres: el *Dermestes frischi*, completamente negro y de 7 mm de longitud, y el *Dermestes undulatus*, que presenta algunas manchas grises en los élitros y tiene 6 mm de longitud.

La *Aglossa pinguinalis* pertenece a la familia de las piralas, pequeñas mariposas parecidas a las polillas. Las larvas son blancas, cilíndricas, con anillos abultados, con 3 pares de patas anteriores escamosas y cinco pares de patas posteriores membranosas; ponen los huevos en julio.

La *Piophilina petasionis* es una mosca pequeña de 4 mm de longitud, análoga a las que depositan sus huevos en el queso. Su larva es característica por su progresión a salto de trucha, bien conocida en el gusano del queso.

La *Anthomyia vicina*, es un díptero de cuerpo más alargado que el de las moscas, de 5 mm de longitud, de costumbres rurales. Su larva presenta prolongaciones estiliformes, simples o ramosas, lo mismo que sus pupas.

El *Corynetes coeruleus* mide 3 mm de longitud, es muy brillante y de un hermoso color azul de acero. El *Corynetes ruficollis* posee un coselete encarnado.

Los dípteros pertenecientes a la subtribu de los alcalípteros y a los géneros *Tyreophora*, *Lonchea*, *Ophyra* y *Phora*, son moscas muy pequeñas, que miden a lo más 5-6 mm. La más frecuentemente encontrada es la *Phora aterrina*, que alcanza sólo la talla de 2 mm; sus larvas y sus ninfas, igualmente muy pequeñas, tienen una forma prismática triangular, de aristas redondeadas.

El *Necrophorus fossor* es un coleóptero muy común en los cadáveres de topos, ratones y otros animalillos, debajo de los cuales ahonda la tierra para enterrarlos.

Dentro de los coleópteros de las silfas se encuentran la *Sylpha littoralis*, que mide 25 mm de longitud, y la *Sylpha obscura*, que mide 15 mm, coleópteros enteramente negros que devoran los cadáveres sin enterrarlos como los necrófagos. Las larvas son negras, aplanadas, compuestas de 12 anillos formando dentellones laterales.

El *Hister cadaverinus*, de 6 mm de largo, tiene el cuerpo casi cuadrado y es negro brillante; su larva vive varios meses y se entierra en el suelo, como la de las silfas, para transformarse allí en ninfa y pasar todo el invierno en este estado.

El *Saprinus rotundatus* se parece mucho al *Hister*, del que se distingue por el punteado de los élitros y la ausencia de estrías laterales.

La *Uropoda nummularia* mide 0,7 mm de longitud; el *Trachynotus cadaverinus*, cuya hembra mide 1,1 mm y el macho tan sólo 0,6 mm de longitud; el *Glyciphagus cursor*, notable por la gracilidad de sus patas; el *Tyroglyphus siro*, cuyas ninfas hipopiales se pegan a las patas de las moscas que transportan sobre los cadáveres en vías de desecación, y finalmente, el *Histioglyphus necrophaga*, pequeño ácaro de 0,5 mm de longitud.

La *Aglossa cuprealis* es un lepidóptero afín a la *Aglossa pinguinalis*, anteriormente descrita. La *Tineola biselliella* es una mariposa aún más pequeña, cuya oruga, de 4-5 mm de longitud, se envuelve en una vaina formada por sus propios excrementos.

El *Attagenella pella* es un coleóptero devorador de pieles, es muy parecido a los *Dermestes*. El *Anthrenus museorum* es un coleóptero del grupo de los antrenos, tiene el cuerpo redondeado, mide 2,5 mm de longitud, vive en las flores en estado adulto, pero deposita sus huevos en las materias desecadas; su larva se caracteriza por estar cubierta de pelos largos amarillos, denotados y terminados en la parte posterior de la larva por una especie de dardo romo.

El *Tenebrio obscurus* es un coleóptero que mide 15-20 mm de longitud, cuya larva es parecida a la del *Tenebrio molitor* o gusano de la harina.

El coleóptero *Ptinus brunneus*, de 2 mm de longitud, está provisto de un cuerpo grueso con un coselete muy abombado, que oculta la cabeza.

Según Mégnin, en 1894 se identificaron 8 cuadrillas:

1. Primera cuadrilla. Está formada por dípteros, moscas de las especies *Musca* y *Curtonevra*, en un primer momento, y después por otras moscas, *Calliphora* y *Anthomyia*. Ataca cadáveres frescos.

2. Segunda cuadrilla. Actúa tan pronto como se hace sentir en el aire libre el olor cadavérico. Sus componentes son moscas *Lucilia* y *Sarcophaga*.
3. Tercera cuadrilla. Interviene 3-6 meses después de la muerte, atraída por las grasas fermentadas (fermentación butírica). La componen coleópteros (*Dermestes*) y lepidópteros (*Aglossa*).
4. Cuarta cuadrilla. Es atraída por la fermentación caseica o albuminoidea y se compone de moscas (*Anthomia* y *Pyrophila casei*) y de coleópteros (*Corynetes*).
5. Quinta cuadrilla. La atrae la fermentación amoniaca. Se compone de dípteros de los géneros *Tyreophora*, *Lonchea*, *Ophyra* y *Phora*, de coleópteros de la familia de los sílfidos, y de los géneros *Necrophora*, *Silpha*, *Hister* y *Saprinus*.
6. Sexta cuadrilla. Absorbe el resto de los humores líquidos dejados por las anteriores cuadrillas, con lo que se desecan y hasta momifican las partes orgánicas que aún resistían. Son todos acarianos de los géneros *Uropoda*, *Trachinotus*, etc.
7. Séptima cuadrilla. Aparece cuando ya sólo quedan restos momificados que no dan pábulo a los agentes fermentativos; los obreros de esta cuadrilla son los mismos que roen los vestidos, tapices, pieles, etc. Son coleópteros (*Dermestes*, *Attagenes* y *Anthrenes*) y lepidópteros (*Aglossa* y *Tineola*).
8. Octava cuadrilla. La componen tan sólo dos especies de insectos que hacen desaparecer los restos que dejaron los demás: *Tenebrio* y *Ptinus*.

Según Mégnin concurren a la desaparición del cadáver las distintas especies de insectos de una manera sucesiva, siguiendo un orden cronológico. Constituyen 4 periodos:

1. El primer periodo dura alrededor de 3-4 meses. Se caracteriza por la presencia de larvas de dípteros: *Curtonevra*, *Sarcophaga*, *Lucilia* y *Sarcophaga*. Por lo demás, de un modo general, cuando faltan los dípteros de este grupo en un cadáver, se puede deducir que en el momento de la muerte no había moscas, es decir, que ha ocurrido en invierno, de octubre a marzo (1ª y 2ª cuadrillas).
2. El segundo periodo dura otros 3-4 meses, se encuentran en el cadáver los coleópteros del género *Dermestes* y los lepidópteros del género *Aglossa* (3ª cuadrilla).
3. El tercer periodo dura 4-8 meses. El cadáver aparece convertido en una papilla negruzca, líquida o semilíquida, de olor que recuerda al del queso podrido. Se aprecian en él larvas de dípteros, como los *Phora* y *Anthomia*, y coleópteros, como los *Silpha*, *Hister* y *Saprinus* (4ª y 5ª cuadrillas).
4. El cuarto periodo dura 6-12 meses. En los restos del cadáver, reducido casi a polvo, aparecen acarianos, tales como los *Uropoda*, *Trachynotus*, *Anthrenes*, e insectos como *Tenebrio* y *Ptinus* (6ª, 7ª y 8ª cuadrillas).

Según Simonin, cuando un cadáver se descompone al aire libre son numerosos los insectos necrófagos que se suceden a medida que la descomposición

de las materias orgánicas corresponden a la fase adecuada de sus facultades de asimilación nutritiva.

Los necrófagos de cada escuadra obedecen al poder atractivo de ciertas sustancias putrefactas (alcoholes, ácidos acético y láctico, alifáticos y productos amoniacales, sobre todo), que excitan los órganos olfativos situados en las antenas de los insectos.

Los «trabajadores de la muerte» especialmente estudiados por Mégnin dejan, de su paso sobre el cadáver, señales (larvas e insectos muertos) que permiten establecer la cronología de su sucesión y remontarse aproximadamente a la época de la muerte (Tabla 1).

La composición específica de cada grupo de necrófagos y la época de su aparición dependen de cierto número de factores entre los que deben tenerse en cuenta: grado de descomposición cadavérica, situación del cuerpo (aire libre, bajo estiércol, inhumado, sumergido), estación, causa de la muerte, región geográfica (fauna entomológica local, clima), etc.

La fauna cadavérica está compuesta de unas 20 especies de insectos que forman 8 grupos en correspondencia con los periodos en que entran en escena. Se distinguen, cronológicamente, las faunas californiana (desde la muerte), sarcófaguiana (1^o-6^o mes), dermestiana (3^o-9^o mes), corinetiana (10^o mes), silfiana (2^o año) y acariana (2^o-3^{er} año).

El grupo californiano no está representado más que por moscas: *Calliphora erythrocephala* y *Calliphora vomitaria* (tipo agreste); grandes moscas azules de la carne, *Musca corvina*; y *Muscina stabulans*, que ponen sus huevos inmediatamente después de la muerte, sobre el cadáver fresco, alrededor de los orificios naturales (labios, nariz, ángulo interno de los ojos, etc.) y al nivel de los pliegues cutáneos. Las puestas, que agrupan 100-150 huevos, se escalonan de abril a octubre en nuestras regiones.

Durante la estación favorable, en 8-12 horas, los huevos se vuelven larvas o gusanos muy voraces; 8 días (*Musca*) o 10-20 días (*Calliphora*) son necesarios para la transformación de éstas en ninfas que se encierran en un capullo quitinoso de donde sale el insecto perfecto tras una incubación de 12 días (verano) a 1 mes; después, las generaciones se suceden.

El ciclo evolutivo completo (huevo, larva, ninfa y adulto) no dura en pleno verano más que 12 días. Es preciso pues un mínimo de 12 días para encontrar capullos vacíos bajo un cadáver, bajo los vestidos o en la tierra adonde las larvas emigran para enquistarse.

El grupo sarcófaguiano es atraído por el olor cadavérico de un tejido humano en descomposición. Se compone igualmente de moscas: *Sarcophaga* (mosca de color gris cuyo abdomen está cubierto de manchas tornasoladas dispuestas en damero), *Lucilia* (de 7-9 mm de largo, de coloración verde de reflejos brillantes con manchas blancas a los lados de la frente) y *Cynomyia* (abdomen azul violáceo).

Si las crisálidas examinadas tienen los estigmas respiratorios posteriores situados en el fondo de una depresión, proceden de *Sarcófagas*, moscas que ponen larvas vivas y cuyo ciclo evolutivo es más corto.

El grupo dermestiano coloniza el cadáver en el momento del desprendimiento de los ácidos grasos volátiles (ácido butírico de olor fuerte) procedente del enranciamiento de las grasas. Comprende los coleópteros del género *Dermestes* y una pequeña mariposa, *Aglossa*, que se nutren devorando la grasa del cadáver.

En las regiones muy cálidas, desérticas, las *Dermestes* son capaces de reducir un cadáver a estado esquelético en 40-100 días, experimentalmente en 24 días; su ciclo evolutivo dura 30 días.

En el grupo corinetiano se encuentran pequeñas moscas (*Piophilidae casei*, mosca muy común en el queso, cuya larva se desplaza saltando), pero sobre todo coleópteros del género *Corynetes*, de 5 mm de largo, azules o rojos. Estos insectos acuden en el momento de la fermentación caseosa de las materias proteicas que sigue a la fermentación butírica de las grasas.

Los insectos del grupo silfiano son dípteros de pequeña talla, del tipo de los *Phorides* (*Phora aterrina*), de los *Ophyra* y de los coleópteros de la familia de los *Silphides*, de los que los más representativos son los *Necrophores*. Son atraídos por las emanaciones amoniacales procedentes de líquidos saniosos.

El grupo acariano se compone de pequeños ácaros, cuya talla es inferior a 1 mm. Se desarrollan en las últimas serosidades pútridas y secan el cadáver.

Después del tercer año, las últimas escuadras atacan a los tendones, a las aponeurosis, a los cabellos y no dejan más que los huesos; consumen también los restos de insectos abandonados por las escuadras precedentes.

Estos mismos insectos corroen las pieles y destruyen las colecciones de libros. Son coleópteros de la familia de los *Anthrenes*, devastadores de las peleterías y de las larvas de pequeñas mariposas.

Balthazard, a instancias de Brumpt, indica unos errores cometidos por Mégnin al realizar la clasificación. En el primer grupo, Mégnin sitúa los dípteros de los géneros *Musca*, *Curtonevra* y *Calliphora*, que no depositan sus huevos más que en cadáveres aún frescos. Brumpt señala que la mosca doméstica no pone nunca sus huevos en cadáveres; igualmente indica que Mégnin afirmaba que las curtonevras habitan en medios exclusivamente rurales; si este hecho fuera exacto, la presencia de larvas o de ninfas de curtonevra en un cadáver encontrado en la ciudad demostraría que dicho cadáver había sido transportado del campo. En realidad, la *Curtonevra stabulans*, mosca robusta que difiere de la mosca doméstica sobre todo en la forma encorvada de los nervios del ala, frecuenta las ciudades, donde abunda en las caballerizas y alrededor de los mercados.

Balthazard menciona por último, que tanto las *Curtonevras* como las *Calliphoras* buscan con avidez, tanto los cadáveres en los que la putrefacción ha comenzado como los cadáveres frescos. Esos dípteros no son comúnmente los primeros que atacan los cadáveres; las *Lucilias* y las *Sarcófagas* parecen estar dotadas de un olfato más sutil, siendo las primeras que van a depositar inmediatamente sus huevos en los sitios propios, si el cadáver está abandonado en el exterior de la casa.

Balthazard, establecidas estas rectificaciones, suprime el primer grupo de Mégnin y lo adiciona al segundo, que comprende, por consiguiente, los dípteros de los géneros *Curtonevra*, *Calliphora*, *Sarcophaga* y *Lucilia*; así establece 7 grupos (Figura 1).

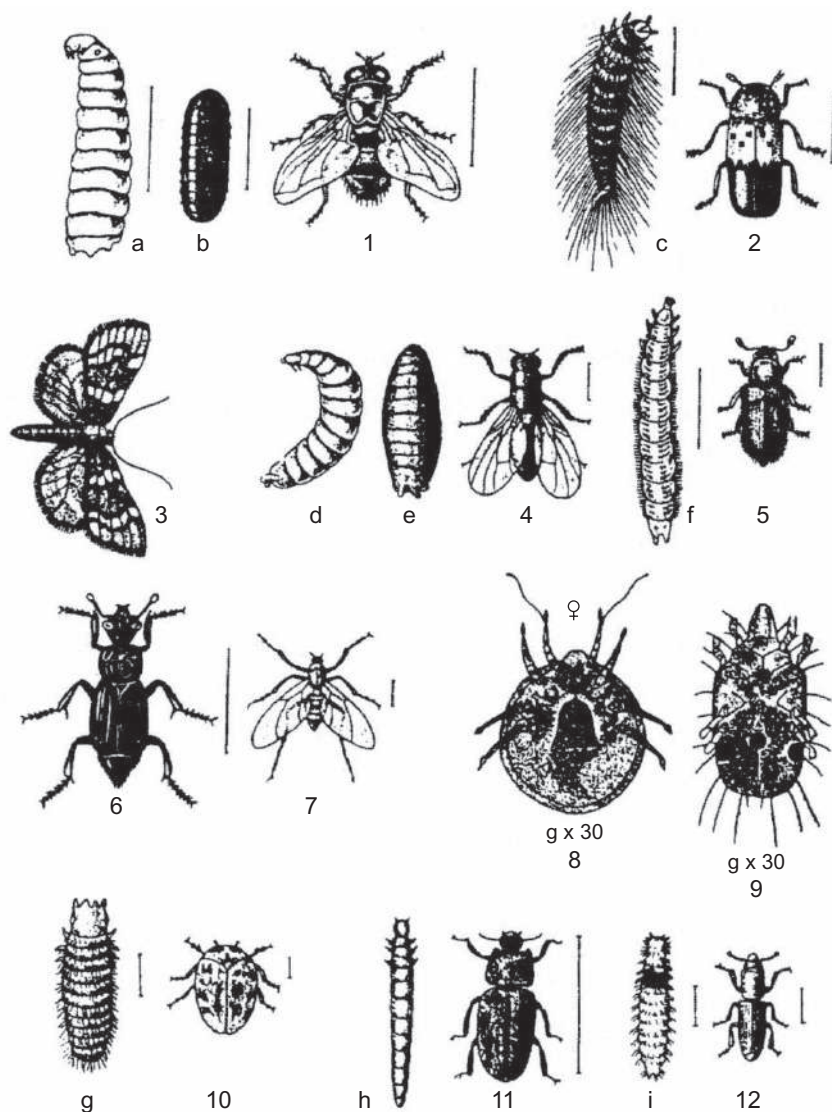
TIEMPO MÍNIMO	OBSERVACIONES HECHAS SOBRE EL CADÁVER POSTMORTEM
Minutos	
30	Principio de la rigidez del músculo cardíaco y del diafragma.
20-45	Aparición de las primeras livideces, en el cuello.
45	Pérdida de la transparencia corneal (ojo abierto).
Horas	
1	Caída de la temperatura rectal de 1 grado (1 grado por hora en las cuatro primeras horas).
	Coagulación de la sangre.
1 3/4	Confluencia de las livideces en el cuello.
1-2	Sensible enfriamiento de pies, manos y cara.
2	La pupila no se contrae más que por la acción de la eserina.
	Licuefacción de las cápsulas suprarrenales.
2-4	La rigidez aparece en la articulación temporomaxilar.
4	La pupila no se dilata por la acción de la atropina.
4-5	Enfriamiento sensible de la piel.
6-8	Extensión de la rigidez a toda la musculatura esquelética.
8	La rigidez interrumpida artificialmente no se reproduce más.
10	Las livideces estabilizadas no desaparecen con la presión ni con los cambios de posición del cadáver.
	Presencia precoz de larvas de moscas vivas sobre el cadáver.
12	Apergaminamiento de los órganos genitales externos.
12-15	Desaparición de la rigidez del músculo cardíaco.
13-30	Desaparición de los movimientos de los cilios epiteliales.
14	Livideces máximas; mancha verde abdominal en tiempo caluroso.
15-24	Equilibrio térmico. Hipóstasis pulmonar. Hemólisis.
18-24	Hemoconcentración de la sangre contenida en el corazón.
24	Pérdida de la transparencia corneal (si el ojo está cerrado).
	Aparición de la coloración verde oscura en la cara inferior del hígado y en la cara cólica del bazo.
	Trasudado con hemoglobina en la pequeña pelvis.
24-36	Trasudado pleural con hemoglobina.
34-82	Desaparición de la movilidad de los espermatozoides en las vesículas seminales.

(continúa)

(continuación)

TIEMPO MÍNIMO	OBSERVACIONES HECHAS SOBRE EL CADÁVER POSTMORTEM
Horas	
36	Principia la desaparición de la rigidez.
48	Comienza la desaparición del líquido cefalorraquídeo. Globos oculares blandos; midriasis.
	Mancha verde abdominal; turgencias venosas superficiales.
Días	
3-4	Resolución completa de la rigidez (antes si la temperatura es elevada).
	Excepcional presencia de capullos de insectos.
6	Presencia precoz de capullos.
7-8	Presencia precoz de capullos vacíos.
8	Cadáver completamente verdoso.
10-14	Plazo habitual para encontrar crisálidas (grandes variaciones según la temperatura exterior).
12	Mancha verde abdominal (en tiempo frío).
15	Flictenas; hinchazón generalizada. Aparición de putrescina y cadaverina.
17	Momificación precoz posible.
Meses	
1-2	Inicio de la transformación en adipocira del tejido grasoso subcutáneo.
2-4	Fin de esta transformación.
1-6	Fauna sarcófaguiana (lucilias y sarcófagas).
3-9	Fauna dermestiana (dermestes).
3	Principio de la transformación de los músculos en adipocira.
6	Transformación en adipocira de los músculos faciales superficiales.
10	Fauna corinetiana (corynetes).
Años	
1	Transformación en adipocira de los músculos faciales profundos.
2-3	Faunas silfiana y acariana.
2-4	Aparición de hongos en la tumba.
3-4	Desaparición de partes blandas en la tumba.
5	Desaparición de tendones y cartílagos.
5-10	Desaparición de los lípidos del hueso.
10-15	Iniciación de la alteración de la estructura ósea.
50	Las superficies óseas se vuelven porosas.

Tabla 1. Cronología tanatológica



1^{er} y 2^o periodos: *Calliphora* (1), gran mosca azul de la carne, cuya larva (a) se nutre de carne; el capullo quitinoso (b) encierra la ninfa; 3^{er} periodo: insectos cuyas larvas se nutren de grasa de cadáver o adipocira; *Dermestes tardarius* (2) y su larva (c); *Aglossa pinguinalis* (3) o polilla de la grasa; 4^o periodo: insectos que se nutren de productos procedentes de la fermentación caseosa: *Piophilidae* (4), su larva (d) (verde del queso) y el capullo conteniendo la ninfa (e); *Corynetes ruficollis* (5) y su larva (f); 5^o periodo: el *Necrophorus fossor* (6) y la larva de la *Phora aterrina* (7) devora las materias proteicas putrefactas; 6^o periodo: *Acaris*, que se nutren de los últimos humores; *Uropoda nummularia* (8), *Glyciphagus cursor* (9); 7^o periodo: *Anthrenus museorum* (10), cuya larva (g) ataca todas las materias orgánicas desecadas; 8^o periodo: *Tenebrio obscurus* (11) y su larva (h), que se nutre de todos los residuos orgánicos restantes. *Rhizophagus parallelocollis* (12), coleópteros de los cementerios, cuya larva (i) [...].

Figura 1. Cronología entomológica (Tomada de Balthazard, 1933 y Simonin, 1982)



10

GRANDES CATÁSTROFES.
ORDENAMIENTO LEGAL,
TIPOS DE ACCIDENTE
Y PLAN GENERAL
DE ACTUACIÓN.
EL EQUIPO DE
NECROIDENTIFICACIÓN

Elena Labajo González

*Profesora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria. Sección Odontología
Forense. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid*

José Antonio Sánchez Sánchez

*Director de la Escuela de Medicina Legal y Forense.
Universidad Complutense de Madrid*

GRANDES CATÁSTROFES. ORDENAMIENTO LEGAL

Las grandes catástrofes en nuestro país adolecen de un plan de tratamiento y adecuación a la realidad actual. Hasta hace poco tiempo en que eran bastante infrecuentes y se limitaban a los desastres naturales como terremotos, lluvias torrenciales, huracanes, erupción de volcanes, etc. han pasado a afectar personas que viven en grandes áreas urbanas y que usan los medios de transporte cada vez con más asiduidad. Los accidentes aéreos, los choques de trenes, los atentados con coche bomba, los choques de numerosos vehículos a alta velocidad en las autopistas, barcos que se hunden y un largo etcétera de desgracias han pasado a formar parte de nuestra vida cotidiana, teniendo todos ellos un elevado índice de siniestralidad. Este elevado número de víctimas, junto con otra característica común a estos accidentes que es la gran destrucción que producen en el cuerpo humano, hacen que la identificación en estos casos sea especialmente compleja pues a la violencia del accidente se suelen añadir los efectos del fuego o la acción de productos químicos corrosivos.

Nuestro ordenamiento legal recoge lo que se refiere a grandes catástrofes en la Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre Protección Civil y en el Real Decreto 1378/1985, de 1 de agosto, sobre medidas provisionales para la actuación en situaciones de emergencia en los casos de grave riesgo catástrofe o calamidad pública.

Los textos citados planifican la actuación de una forma genérica, sin entrar en detalles operacionales en cuanto a identificación de víctimas en el área del desastre.

Hemos de irnos a la Ley de Enjuiciamiento Criminal (artículos 340-343) en lo que respecta a la identificación de las víctimas, que dispone lo siguiente:

Artículo 340.

Si la instrucción tuviere lugar por causa de muerte violenta o sospechosa de criminalidad, antes de proceder al enterramiento del cadáver o inmediatamente después de su exhumación, hecha la descripción ordenada en artículo 335 se identificará por medio de testigos que, a la vista del mismo den razón satisfactoria de su conocimiento.

Artículo 341.

No habiendo testigos de conocimiento, si el estado del cadáver lo permitiere, se expondrá al público antes de practicarse la autopsia, por tiempo a lo menos de veinte y cuatro horas, expresando en un cartel, que se fijará a la puerta del depósito de cadáveres, el sitio, hora y día en que aquel se hubiese hallado y el Juez que estuviese instruyendo el sumario, a fin de que quien tenga algún dato que pueda contribuir al reconocimiento del cadáver o al esclarecimiento del delito y de sus circunstancias lo comunique al Juez instructor.

Artículo 342.

Quando a pesar de tales prevenciones no fuere el cadáver reconocido recogerá el Juez todas las prendas del traje con que se le hubiese encontrado, a fin de que puedan servir oportunamente para la identificación.

Artículo 343.

En los sumarios a que se refiere el artículo 340, aun cuando por inspección exterior pueda presumirse la causa de la muerte, se procederá a la autopsia del cadáver por los Médicos forenses, o en su caso, por los que el Juez designe, los cuales, después de describir exactamente dicha operación, informarán sobre el origen del fallecimiento y sus circunstancias.

En ninguna de las disposiciones anteriores se especifica quién debe encargarse de las tareas de identificación, en el caso que ocurra una gran catástrofe, que como señalábamos anteriormente es un acontecimiento «que requiere disposiciones especiales para ser resuelto».

Recientemente ha sido publicado en el BOE el Real Decreto 32/2009, de 16 de enero, por el que se aprueba el Protocolo nacional de actuación Médico-forense y de Policía Científica en sucesos con víctimas múltiples.



Figura 1. *Accidente aéreo*

TIPOS DE ACCIDENTE

1. ACCIDENTES TERRESTRES

- a) Traumatismos no tan grandes como en otros tipos.
- b) Víctimas fácilmente identificables por medios directos o dactiloscopia.
- c) Habitualmente de una sola nacionalidad.
- d) Documentados.
- e) Desventajas: no hay listas de pasajeros.

2. INUNDACIONES Y OTROS SINIESTROS NATURALES

- a) No suelen presentar grandes traumatismos que dificulten la identificación.
- b) Fácilmente reconocibles por parientes o vecinos en los momentos que siguen al accidente.
- c) Se pueden emplear:
 - Métodos dactiloscópicos.
 - No suelen llevar documentación, puesto que suelen estar en su domicilio.
 - A veces son transportados a grandes distancias o aparecen largo tiempo después: en este caso se hace preciso la identificación odontológica o mediante el estudio del ADN.

3. SINIESTROS MARÍTIMOS

- a) Generalmente presentan grandes mutilaciones.
- b) Existe por lo general pérdida de documentos y objetos personales.
- c) Los cuerpos presentan destrucción de tejidos por acciones química (agua), mecánica (rocas) y biológica (peces).
- d) En estos accidentes rara vez puede aplicarse el método dactiloscópico: siendo especialmente útil la identificación odontológica o mediante el estudio del ADN.

4. INCENDIOS

Quando se produce un incendio el fallecimiento puede producirse por asfixia, en cuyo caso no existe gran alteración del cuerpo para su identificación, o por quemaduras, que en la mayoría de los casos implica una destrucción intensa de los cuerpos, haciendo imposible la toma de huellas dactilares. En realidad, las extremidades son la primera parte del cuerpo en destruirse por el fuego. Puede ser necesario extraer los huesos largos para usar procedimientos antropológicos para determinar la talla, y examinar la pelvis y el cráneo para la determinación del sexo y la raza del individuo.

Hay que señalar que en caso de una destrucción extensa, y aunque a primera vista se crea que se puede establecer la identificación, es necesario descubrir más datos que confirmen la identificación. La ausencia del apéndice por una intervención quirúrgica o la presencia de una fractura antigua pueden permitir realizar una identificación positiva. Es aconsejable cuando la destrucción es muy grande realizar una serie radiográfica de todo el cuerpo para evitar la pérdida de signos al extraer los huesos que pueden estar fracturados y frágiles debido a la alta temperatura que han soportado.

Se presentan pues dos tipos de fallecidos:

- Asfixiados: como no están alterados por la acción del calor la identificación se hace por los métodos habituales.
- Quemados: presentan grandes destrucciones, habitualmente están desmembrados y mutilados.

5. ACCIDENTES AÉREOS

- a) Traumatismos extraordinariamente graves.
- b) Gran destrucción de restos y objetos.
- c) Diversidad de nacionalidades.
- d) Método identificador: comparación de datos antemortem y postmortem, y en caso necesario mediante el estudio del ADN.

PLAN GENERAL DE ACTUACIÓN

Se hace necesario para su tratamiento un enfoque multidisciplinario, que se basará en la interrelación de 3 elementos: el ordenamiento legal, medidas a tomar para la retirada de las personas heridas, y retirada e identificación de las personas que han fallecido.

En la literatura internacional y sobre todo en el protocolo publicado por el Real Colegio de Patólogos de Londres: *Deaths in major disasters. The pathologist's role*, se recogen una serie de disposiciones de cómo deben resolverse estas situaciones y que exponemos a continuación:

1. Para evitar la gran desorganización que se suele producir en un desastre de masas, es recomendable que se establezca un mando único que coordine todas las actuaciones.
2. La primera medida a tomar es contener el desastre.
3. Posteriormente se procede al rescate de los heridos; en él participarán sanitarios, Cruz Roja, Protección Civil, Fuerzas de Seguridad del Estado, etc.
4. A continuación lo más importante es acordonar la zona. Los heridos ya se han evacuado y no hay urgencias vitales. Hay que asegurarse que nadie ajeno a los equipos de rescate e identificación penetre en la zona. La identificación se hace tanto más difícil cuanto más se alteran los indicios. Por lo tanto, no debe hacerse en la zona más de lo estrictamente preciso para las dos prioridades anteriores.
5. Con posterioridad se debe realizar una reunión para la planificación. Éste es el momento en el que los responsables de la seguridad y la identificación, las autoridades civiles, judiciales, militares, etc. consulten a los expertos, hagan venir a los equipos, dispongan de los medios necesarios y, en una palabra, planeen cómo se va a realizar la tarea.

En líneas generales los pasos serían los siguientes:

- a) Llamar a los responsables del equipo o equipos de identificación que vayan a intervenir y señalarles que estén a la espera de instrucciones. El responsable del equipo debe alertar y preparar a los demás miembros para que estén listos para movilizarse.
- b) El jefe del equipo o supervisor debe presentarse en el lugar de la escena lo antes posible y entrar en contacto con los responsables de evacuación y otras autoridades que estén en el lugar. Este jefe de equipo debe colocarse un chaleco de un color distintivo para poder ser localizado prontamente por los demás miembros del equipo. En el lugar del accidente, lo primero será la evacuación de los sobrevivientes tan rápidamente como sea posible. Los fallecidos deben dejarse en el lugar donde están a menos que sea necesario moverlos para rescatar a un sobreviviente.
- c) Organización de un equipo médico distinto del que está actuando para retirar los sobrevivientes para que compruebe y certifique las víctimas que han fallecido.

Una vez realizadas estas operaciones se procederá a la tarea de identificación, que va a requerir fundamentalmente:

1. Organización de la zona del siniestro. Levantamiento.
2. Organización de la zona de identificación. Depósito.

1. LEVANTAMIENTO

Exige que se realice de una manera ordenada y planificada:

1.1 Cuadrículado de la zona

El tamaño de la cuadrícula debe estar en relación con el área a cubrir. Podemos utilizar para el cuadrículado como punto de partida una accidente natural como puede ser un árbol o una casa y a partir de ahí cuadricular la zona. Si no disponemos de un punto de referencia, lo mejor es usar una barra metálica que clavaremos en el suelo y sin que sobresalga y siempre será posible encontrarla con un detector.

1.2 Planificación del rastreo

Organización de los equipos de batida.

1.3 Acotamiento de los hallazgos, por medio de listón o banderín

Los hallazgos han de detallarse en un plano lo suficientemente preciso de la zona, que incluya la cuadrícula montada sobre el terreno. Puede en este momento realizarse una numeración de los restos. Conviene que haya un solo centro distribuidor de etiquetas para evitar dobles numeraciones. Se utilizan etiquetas dobles, una se atará al resto acotado utilizándose el número que muestra para

el plano y fotografías, y la otra mitad se cortará en el momento de la recogida y se atará al exterior de la bolsa.

1.4 Fotografía y vídeo

Han de recoger la posición de los restos y su relación con otros objetos. Asimismo han de destacar todos los detalles de los restos o del entorno que nos puedan ser útiles.

1.5 Recogida de restos humanos y materiales

Una vez que toda la zona se haya terminado de acotar y fotografiar, es el momento de recoger, siempre de una manera ordenada y por cuadrículas. También ha de anotarse en el plano lo que se recoge y cuando se recoge. No se debe olvidar unir una mitad de la etiqueta al exterior de la bolsa. Los objetos personales que aparezcan en el cuerpo de la víctima serán incluidos dentro de la bolsa con el cuerpo de la víctima, pero si los objetos aparecen en los alrededores deben ser guardados en bolsas separadas y con diferentes números.

Los restos humanos que tengan un tamaño grande, como brazos o piernas, después de haber sido identificados como humanos, deben ser fotografiados en su lugar y incluidos también en bolsas diferentes con una su correspondiente numeración. No debemos olvidar el colocar un listón o banderín con el número que hemos colocado en la pieza retirada.

Este último punto será de una importancia vital a la hora de tratar de establecer la identificación de las partes de restos humanos encontrados. Esta parte del proceso de identificación debe de realizarse con luz del día o con una adecuada iluminación. El intentar realizarlo con mala iluminación puede traer como consecuencia heridas al equipo de identificación por accidentes y pérdida de evidencias.

1.6 Fotografía facial tan pronto sea posible

Es la única actuación identificadora que se permite en la zona del siniestro, puesto que permite disponer prontamente de un medio identificador en los casos en que el estado del cuerpo lo permita para enseñar a allegados que pregunten por un desaparecido en el desastre.

1.7 Medidas de seguridad

Tanto en el lugar de la escena como a lo largo de toda la investigación debe de prestarse una atención especial a las medidas de seguridad para evitar accidentes. Es importante no olvidar recabar información acerca de los peligros que puedan existir de los bomberos, policía y equipo de urgencias que ha estado actuando con anterioridad. Hay que conocer si existen sustancias radiactivas, gasolina derramada, gases tóxicos, presencia de bombas etc. El Jefe del equipo debe de encargarse de que todo el personal lleve ropas protectoras cumpla con las instrucciones que se le hayan dado en cuanto a seguridad.

2. DEPÓSITO

2.1 Depósito temporal

Si las características del terreno donde ha ocurrido el accidente son de difícil acceso o en lugares apartados, puede ser necesario establecer un lugar de depósito temporal hasta poder trasladar los cadáveres y objetos hasta el depósito donde se realicen las tareas de identificación.

Si las condiciones de clima son apropiadas, el depósito temporal puede ser simplemente un espacio libre en el campo o en un lugar cercano a una carretera o vía de ferrocarril. Otras posibilidades son alguna carpa o tienda, o algún edificio cercano que reúna condiciones suficientes de espacio para poder ser usado temporalmente. Este lugar no se puede tener previsto en los planes de actuación, dado que debe ser un lugar próximo al sitio donde ha ocurrido el accidente.

Una vez seleccionado el lugar el jefe del equipo debe valorar la situación, prever las necesidades de material, depósito y cualquier otra circunstancia, y enviar el equipo de identificación al lugar del accidente.

2.2 Depósito definitivo

Tras la realización de las anteriores operaciones, si el accidente ha ocurrido en un lugar aislado o que no reúna posibilidades para establecer el depósito definitivo, nos ocuparemos de establecer éste.

Lo ideal es que los cadáveres procedentes del lugar del desastre se instalen en un solo depósito. La razón para esto es que si existe más de un depósito la tarea de identificación puede complicarse en grados extremos y ser una fuente de error. Esto puede significar que se multipliquen los equipos de identificación y una dispersión de la información. En definitiva se causaría un problema innecesario en los familiares si quieren ver un cuerpo al tener que recorrer los diversos depósitos. El uso de más de un depósito puede también aumentar la carga de las comunicaciones, las cuales están ya de por sí sobrecargadas cuando ocurre una catástrofe.

Los hospitales no deben ser usados como depósitos por varias razones:

1. Durante un desastre, la cantidad de heridos que se retiran del lugar del accidente deben tener un acceso lo más viable posible al hospital. Por tanto no debe usarse simultáneamente las mismas carreteras para llevar al hospital a los fallecidos. Después, la congestión en el hospital y alrededores va a persistir por la llegada de amigos y familiares que se interesan por visitar el depósito.
2. La llegada de un gran número de cuerpos al depósito del hospital puede sobrepasar la capacidad de éste, de forma que sea necesario la utilización de más de un depósito. Este hecho puede además afectar a la actividad normal del hospital que se ve desbordada y sin posibilidad de usar esas instalaciones, en alguna ocasión durante 3-4 semanas.

3. Muchos de los cuerpos procedentes del lugar del desastre pueden estar mutilados, quemados o en proceso de descomposición. Un depósito de un hospital puede estar mal equipado para estas eventualidades.
4. Además, todas las víctimas pueden necesitar un estudio radiológico extenso, lo que complicaría la situación al utilizar los servicios de radiología que no están previstos para este tipo de actuaciones.

Tampoco debe de usarse el depósito municipal, ya que hay casi siempre una falta de capacidad y de adaptabilidad. De todas formas en este caso la última decisión va a depender del número de cuerpos y de la capacidad del depósito. Igualmente debemos tener en cuenta que se va a ocupar las instalaciones por un tiempo prolongado y que se va a interferir con el normal funcionamiento del depósito.

Lo mejor es habilitar un espacio específico y amplio que podamos organizar adecuadamente según las necesidades (hangar, gimnasio, carpa, pabellón, etc.).

2.3 Características del depósito

El lugar ideal, según la bibliografía internacional, debe tener las siguientes características:

1. Debe ser un espacio cubierto, con acceso directo desde la calle, con suelo impermeable y con capacidad suficiente para albergar todos los cuerpos y equipos necesarios.
2. Debe tener una entrada discreta que lo haga seguro y donde se pueda mantener la privacidad y la seguridad, tarea ésta de la policía, pero en la que el equipo de identificación debe dar las instrucciones al respecto.
3. Los accesos por carretera, ferrocarril o aéreos se deben tener en cuenta a la hora de decidir el lugar más apropiado para el depósito, ya que facilitará tanto la llegada como la salida de los cadáveres.
4. Debe tener las siguientes instalaciones:
 - a) Material de oficina: ordenadores, fotocopadoras, teléfonos, fax... Si no se dispone de un espacio específico para estas instalaciones se pueden usar caravanas. Desde este centro se debe estar en contacto con la policía, juez encargado del caso y cualquier otro estamento que tenga una participación directa o indirecta en las actuaciones que se siguen.
 - b) Infraestructuras: luz, calefacción o refrigeración, ventilación, agua corriente, drenaje y alcantarillado.
 - c) Las áreas donde se realiza el embalsamamiento requerirán particularmente una ventilación asistida. La coordinación con centros desde donde se pueda servir formol en grandes cantidades también se debe tener en cuenta.
 - d) Puntos eléctricos para conectar sierras eléctricas y los equipos de radiología.

- e) Cuando el lugar se ha elegido, todos los servicios (alcantarillado, puntos eléctricos, equipos de ventilación, etc.) deben ser instalados con prontitud, de tal forma que sean viables a las pocas horas de haber ocurrido el accidente.
- f) Área de exposición pública para la identificación de los cuerpos por los familiares. Debe estar separada del área de trabajo, para que las actividades que se llevan a cabo por el equipo de identificación no impresionen a los familiares. Cuando esto no es posible se debe separar una zona en el depósito para que puedan pasar los familiares y tratarlos con la mayor consideración posible. Este área debe tener un acceso discreto. El cuerpo a reconocer debe ser mostrado por separado a los familiares. Cuando se ha verificado la identificación, el cuerpo debe ser tratado convenientemente y dejarlo expuesto un tiempo para que la familia pueda estar junto al cadáver.
- g) Área para las prácticas de la policía sanitaria mortuoria.
- h) Aparcamiento para coches y camiones que en algún caso pueden ser frigoríficos, o con generadores portátiles si es necesario.
- i) Servicios: comida, bebida, baños, etc.
- j) Almacén: debe buscarse un área donde colocar las víctimas y sus propiedades. En este almacén puede instalarse una máquina de lavar para limpiar las ropas y otros objetos antes de ser retirados por los familiares o remitidos a su país de origen.
- k) También se ha de organizar un centro de recepción de familiares, que puede ser un hotel o instalación oficial cercana, donde han de dirigirse tanto los que quieran recabar información de un allegado como los medios de comunicación, y donde se han de solicitar a aquellos datos precisos para la identificación.

3. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN EN EL DEPÓSITO. NECROIDENTIFICACIÓN

Una vez decidido el plan general de actuación y los objetivos en el depósito se establecerá la siguiente secuencia de acciones:

3.1 *Recepción del cuerpo*

Sólo existirá una puerta de entrada al depósito. Cada cadáver o resto cadavérico irá incluido en una bolsa con una etiqueta y un número procedente del lugar del accidente.

3.2 *Admisión en el depósito*

Se anotará fecha y hora de admisión en el depósito.

3.3 Documentación

Todos los documentos relativos a los procedimientos de identificación externa o interna se archivarán en su correspondiente carpeta y cada documento incluirá los números de campo de cada cuerpo. En el recuadro transparente que tiene la carpeta en la parte externa se señalarán todas las operaciones que se han realizado y que deben ser supervisadas por el jefe del equipo, el juez y la policía. La lista de operaciones y la documentación deben estar al alcance de todo el personal investigador. Cada anotación debe ir con nombre, fecha e investigador que la ha realizado. De esta forma pueden realizarse distintos exámenes a la vez, sacándole ventaja al tiempo y a las distintas habilidades de los investigadores que componen el equipo.

Para ello es primordial que cada documento que se completa se devuelva a la carpeta con el número de campo y de depósito. El contenido de cada carpeta debe incluir:

- Número de identificación
- Detalles de la identificación
- Ficha dental
- Datos de autopsia
- Descripción de los objetos recogidos
- Descripción de las muestras

Un responsable de documentación se encargará de que todo esté en orden.

3.4 Transporte al área donde se efectuarán las tareas propias de necropsia y de necroidentificación

Una vez que el supervisor o jefe de equipo ha establecido el tipo de heridas y víctimas del accidente se debe proceder a las tareas propias de identificación.

La identificación por inspección visual de los familiares no se aconseja ya que puede ser una fuente de error, debido por una parte al estado de la víctima y por otro al estado anímico de los familiares que puede alterar sus apreciaciones. Por tanto no debe hacerse de forma rutinaria y reservarse sólo a aquellos casos en los que los familiares deseen ver los restos del difunto. En este último caso los familiares deben ver sólo el cuerpo correspondiente y no hacerlos pasar al lugar de trabajo.

Lo que se debe hacer en el depósito es lo siguiente:

1. Fotografía facial lo más pronto posible y vista general del cuerpo con ropa y sin ella.
2. Fotografía de detalles: signos identificadores tales como tatuajes, cicatrices, deformidades y heridas.
3. Cada fotografía debe tener el número de campo.

4. Si se ha establecido un depósito temporal la toma de fotografías debe hacerse en él, dado que el paso del tiempo puede alterar sustancialmente los rasgos de la cara o de los detalles que nos interesen. Estas fotografías pueden ser mostradas a los familiares o amigos para su identificación. Esto nos permite que los cadáveres que han sido preidentificados por las fotografías puedan ser llevados a un área reservada para la identificación, bien en el depósito temporal o en el que se establezca posteriormente. En este último se llevarán a cabo las siguientes operaciones:
5. Examen de documentos, objetos y prendas personales.
6. Examen externo:
 - Descripción somática.
 - Marcas particulares: tatuajes, cicatrices, etc.
 - Estudio antropométrico.
7. Autopsia: heridas, enfermedades y causa de muerte.
8. Toma de muestras: toxicología e histopatología. En general, será necesario recoger muestras de sangre de todas las víctimas para determinar etanol en sangre, grupo sanguíneo, monóxido de carbono y posiblemente investigación del ADN. Para los tripulantes del aparato, en el caso de haberlos, será necesario realizar estudios toxicológicos más detallados.
9. Dactiloscopia: debe realizarse por dactiloscopistas expertos en aquellos dedos que sea posible llevarla a cabo. Estas huellas pueden ponerse en relación con el número asignado a esta parte del cuerpo y cotejarse.
10. Odontograma: la realización del odontograma puede ser de importancia crucial para establecer la identidad de un sujeto determinado, especialmente si existe una gran destrucción causada por el fuego, putrefacción o heridas. Normalmente el equipo de odontología forense trae su propio equipo, pero en ocasiones habrá que proporcionarle un equipo adicional de rayos X.
11. Estudio radiológico: debe decidirse a qué cadáveres o restos se les va realizar el estudio radiológico para su identificación. Esta técnica puede ser de gran ayuda en la identificación de las víctimas ya que la localización de una fractura antigua, alguna deformidad, prótesis, etc. puede tener valor concluyente en el establecimiento de la identidad del fallecido.

También puede interesar, dependiendo del tipo de accidente, la realización de radiografías para la detección de cuerpos extraños incluidos en el cuerpo (como en el caso de la explosión de una bomba). Estas partículas se localizarán con facilidad mediante el estudio radiográfico y pueden servir de ayuda a la policía para establecer el tipo de artefacto, así como el lugar de colocación.

Dicho esto, existen otros factores que hemos de tener en cuenta a la hora de utilizar esta técnica:

- El estudio radiográfico lleva un tiempo prolongado y resulta caro.
- Se requiere personal con conocimientos en esta técnica: radiólogo, ayudante técnico de radiología, reveladoras...
- Se necesita un medio de transporte adecuado para llevar el equipo al lugar de actuación y también para su colocación.
- Se necesitan puntos eléctricos especiales.
- Material de protección adecuado.
- Cuarto oscuro para revelado.

A pesar de todos estos problemas en muchos casos el aporte de la técnica radiológica puede ser esencial para establecer la identificación.

3.5 Medidas de seguridad

Se deben tomar medidas de seguridad para todos los miembros del equipo de investigación que están en contacto con los fluidos corporales. Esto debe de incluir ropas protectoras, delantales y guantes. También debe de disponerse de desinfectantes y equipo de limpieza.

Es importante tener en cuenta que existirá en el depósito personal que no sea médico, que puede ser la primera vez que vea cadáveres mutilados. Esto puede suponer para ellos un choque emocional, que debemos estar preparados para atender.

3.6 Policía sanitaria mortuoria

Cuando se han realizado las autopsias los cadáveres pasarán al equipo de la policía sanitaria mortuoria que se encargará del embalsamamiento, de la restauración cosmética y de la colocación final en un ataúd. El jefe del equipo debe prever un espacio para estas operaciones. El área de embalsamamiento debe estar bien ventilada ya que existirá una alta concentración de formol. El desagüe de los líquidos de embalsamamiento en el alcantarillado puede también causar problemas y por tanto hay que avisar al ayuntamiento para solucionar estos problemas.

3.7 Refrigeración

Cuando la estancia en el depósito se prolonga durante varios días puede ser necesario, sobre todo si el tiempo es caluroso, tener cámaras frigoríficas para refrigerar los cadáveres. Esto limitará el grado de putrefacción que puede dificultar aún más las tareas de identificación. Por tanto también se debe prever un espacio suficiente para la instalación de cámaras o camiones frigoríficos, éstos pueden aparcarse fuera, pero con sus puertas accesibles desde dentro del depó-

sito, para poder ser utilizados como almacenamiento temporal. Es necesario que las etiquetas que se atan a las bolsas o al cuerpo sean visibles cuando el cuerpo se introduce en el frigorífico. También será de ayuda almacenar separadamente los cuerpos autopsiados y los que no lo están.

3.8 Miembros separados

Para realizar una buena tarea identificadora se deben recoger del lugar del accidente todos los restos humanos. Esto puede ser dificultoso a veces cuando el accidente ha sido causado por una explosión, una colisión a alta velocidad o una desintegración en el aire. Las grandes porciones de tejidos (piernas, tronco...) deben estudiarse siguiendo la misma metodología que para los cuerpos enteros. Se debe confirmar en el lugar que son de origen humano, fotografiarlos in situ, marcarlos con una etiqueta y llevarlos directamente al depósito.

Estos restos que pueden ser potencialmente identificables deben ser examinados después de haber finalizado las autopsias.

Si conseguimos identificar el cuerpo al que pertenecen estos fragmentos humanos se colocarán junto a él. En caso contrario deben colocarse todos los restos no identificados en un mismo lugar y decidir qué se hace con ellos, de acuerdo con el juez. Una posible solución es la identificación del cuerpo al que pertenecen mediante técnicas de ADN.

3.9 Recogida de basura

También debemos prever este aspecto, pues hemos de tener en cuenta que existirá una gran cantidad de material usado, como guantes, delantales, toallas de papel, etc., que deben incluirse en bolsas de plástico selladas y enviarlas para su incineración. Los objetos cortantes o punzantes tales como jeringuillas, bisturíes, etc. deben disponerse en contenedores especiales.

3.10 Equipo de primeras ayudas

Se debe disponer de un equipo de primeras ayudas para atender al personal que está trabajando en el equipo en caso de sufrir algún accidente, como pinchazos con agujas, cortes, caídas, etc. Este equipo puede estar formado por médicos generalistas.

3.11 Finalización de las tareas de identificación

Cuando se han concluido las tareas de identificación, el jefe del equipo, el juez encargado y la policía deben decidir cómo se llevarán a cabo las tareas de limpieza, recogida y embalaje de los equipos utilizados en el depósito. Si durante la realización de la investigación ha fallecido alguna de las víctimas que estaban siendo atendidas en el hospital, debe llevar-

se al depósito junto con el resto de los cadáveres, evitando así posibles confusiones.

Después de una limpieza apropiada y de la retirada de los equipos utilizados, el depósito puede ser usado para colocar los ataúdes con los cuerpos en espera de ser retirados para el funeral.

3.12 Dictamen de identidad

Para determinar la identidad, cotejamos los datos de la persona desaparecida y los de los cuerpos sin identificar.

Para ello utilizaremos los formularios de la Interpol. Estos formularios intentan que exista un código de colores aceptado internacionalmente, éstos son:

- Formularios antemortem (personas desaparecidas): amarillo.
- Formularios postmortem (restos humanos): rosado.
- Formulario de conciliación: verde.
- Formulario de identificación final: azul.

Una vez identificados los restos, han de firmar el formulario el supervisor, el forense, el antropólogo, el odontólogo y el policía que participaron en la necroidentificación.

EL EQUIPO DE NECROIDENTIFICACIÓN EN DESASTRES DE MASAS

El equipo de necroidentificación en los desastres de masas que se propone en este epígrafe sería la conjunción de las figuras que se recogen en las diferentes publicaciones internacionales adaptadas en algún caso a nuestra actual legislación y a la estructura de nuestras instituciones.

Las figuras que se proponen en la composición de este equipo son las siguientes:

1. Supervisor o jefe del equipo

El depósito de cadáveres debe estar bajo la dirección de un forense o antropólogo forense experimentado que organice tanto el trabajo de autopsias como la tarea identificadora, y supervise la disponibilidad final de los restos humanos. Este jefe de equipo debe estar disponible las 24 horas del día a lo largo de todo el año, para ser localizado mediante una llamada telefónica, excepto cuando se hace cargo otro colega con una experiencia similar a la suya. Debe llevar un radioteléfono para establecer inmediatamente comunicación con el lugar del desastre.

Este supervisor será responsable de la planificación del lugar de trabajo, del equipo, de señalar las necesidades que se tienen de equipamiento, y la organización de todas las actividades relacionadas con la identificación, en coordinación con el juez, los equipos de urgencias, las autoridades locales y cualquier otra persona o institución relevante (por ejemplo los propietarios de los locales que se pueden utilizar como depósito).

2. Enlaces

Es primordial la coordinación con las distintas autoridades que participan en la solución del desastre; conviene de cara al flujo de informaciones que provienen y proceden del centro de recepción de familiares y de las investigaciones de la policía que un delegado de ésta se ocupe específicamente de dichas tareas. Asimismo, si el personal de oficina no tiene vinculación orgánica con el juzgado, debe existir un canal de comunicación con éste, de manera que el juez correspondiente sea informado del estado de las investigaciones.

La forma de actuación sería la siguiente:

- a) Inmediatamente después de recibir la notificación de un accidente de masas se creará una comisión de identificación que se encargará en estas primeras fases de recibir información de los hospitales, ambulatorios y cualquier otro centro sanitario, respecto a las víctimas que se están atendiendo en esos centros. También se debe encargar este equipo u otro equipo nombrado al efecto de atender las llamadas de personas que preguntan por familiares. Estos equipos deberán estar entrenados para la recogida de aquellos datos personales que puedan ser relevantes para la investigación. La información que se recoge aquí se pasará al depósito donde, como ya hemos señalado, existirá un responsable encargado de la documentación que se hará cargo de ella. En algunos desastres de masas se han usado programas de ordenador para estos efectos. Esta comisión se comunica por un mismo canal con los familiares, con las agencias oficiales y con las empresas de pompas fúnebres. Este equipo tratará de conseguir información acerca de las características físicas, las fichas dentales, huellas dactilares, etc.
- b) La comunicación entre diversos estamentos. El equipo de identificación puede encontrar detalles que sean relevantes para la investigación que sigue la policía acerca de la causa del desastre, el jefe del equipo de identificación debe pasar inmediatamente esta comunicación a través del responsable de documentación, que debe mantener contactos entre el depósito, la policía y la comisión de identificación. También se debe mantener una comunicación continua entre el jefe del equipo de necroidentificación y el juez encargado del caso y cualquier otro estamento que esté en relación con la investigación o en relación con el accidente. También hay que prever las comunica-

ciones con la prensa que se realizarán exclusivamente a través de la oficina de prensa de la policía. Se debe advertir a todo el personal que trabaje en el lugar del accidente que los trabajos de identificación son confidenciales y que no se pueden comunicar a título individual con los periodistas.

3. *Forenses*

Puede ser necesario que más de un médico forense quede encargado de la realización de las autopsias. Ello debe hacerse mediante orden judicial. Junto con el jefe del equipo estarán encargados de:

- Establecer la naturaleza de las heridas y la causa de la muerte de cada víctima.
- Recoger toda evidencia para establecer la causa que ha motivado el desastre para conocer si es de origen criminal, accidental o natural, y si ha existido o no algún acto negligente que lo haya desencadenado.
- Recoger también todas las evidencias que puedan ser útiles a otros organismos que se ocupan de la investigación de accidentes como pueden ser autoridades de aviación civil, marítimas, etc., los cuales pueden llevar a cabo también una investigación separadamente.
- Completar la investigación con el máximo grado de eficiencia junto con el mínimo retraso. Esto permitiría tener los cuerpos de las víctimas preparados tan pronto como sea posible para entregárselos a sus familiares, pero sólo después de que toda la investigación se haya completado.
- Estudiar e interpretar los rasgos patológicos producidos por el accidente, los cuales desde un punto de vista de la seguridad pueden proporcionar información para prevenir que vuelva a producirse otro accidente de las mismas características en el futuro.
- El forense debe siempre tener presente cuando decida una investigación determinada en su actuación, que los principales objetivos en estos casos son la identificación, el examen detallado de los cadáveres y la disposición de los mismos a los familiares lo antes posible.

4. *Antropólogos forenses*

El antropólogo forense es una figura nueva que se incorpora en la actual legislación española a partir de la Ley Orgánica 6/1985, de 1 de julio, del Poder Judicial, y que en la literatura internacional viene recogida como el especialista que se dedica a las tareas de identificación cuando el cadáver está esqueletizado o muy deteriorado. En la Academia Americana de Ciencias Forenses existe una sección de antropología forense desde el año 1971.

En los accidentes de masas no resulta infrecuente que aparezcan restos separados del cuerpo, quemados o mutilados, a los que hay que identificar y poner en relación con las otras partes del mismo individuo. Para ello el antropólogo forense centrará su tarea en la determinación en los restos encontrados de la especie, raza, edad y variaciones individuales que puedan darse en un determinado individuo a fin de identificarlo.

5. Odontólogos forenses

Los que encabezan el equipo deben ser expertos en esta tarea. Los odontólogos de la región pueden ser llamados a colaborar en las tareas, mediante orden judicial; idealmente los odontólogos deberían estar interesados en el tema y participar en programas de educación continuada. Hay que señalar la importancia que tiene en accidentes con grandes destrozos la intervención del equipo de odontólogos forenses y que se traduce en algunos de los casos ocurridos en un alto porcentaje de identificaciones debido sólo al estudio de la boca.

6. Dactiloscopistas experimentados

Preferiblemente que conozcan más de un sistema dactiloscópico.

7. Fotógrafos especializados

Los fotógrafos de la policía judicial están suficientemente preparados para realizar esta tarea.

8. Radiólogo

Generalmente un médico especialista en radiología, que deberá encargarse personalmente de la tarea. Si no puede contarse con este profesional, deberá haber en todo caso una persona cualificada para este trabajo.

9. Especialistas para diagnóstico a través del estudio de ADN

En los momentos actuales y dado el grado de desarrollo de los estudios de ADN, se hace imprescindible la participación de personal especializado a fin de poder establecer la identificación, sobre todo de restos aislados.

10. Personal de oficina

Puede ser personal del juzgado, en este caso dirigido por el secretario judicial u oficial habilitado para ello. Puede ser necesario que este personal provenga de otros organismos. Debe colocarse bajo una única dirección funcional.

11. Relaciones públicas

Es aconsejable que cuando ocurre un accidente con múltiples fallecimientos contemos también con una o más personas que se encarguen de las relaciones públicas entre el equipo investigador y las personas que de alguna forma están en torno al accidente, como periodistas, curiosos, familiares o representantes de ellos, que en caso de tener que atenderlos el equipo de identificación sólo servirán para entorpecer su labor. La atención de las llamadas de teléfono y la contestación a las preguntas que se formulen debe llevarse a cabo por estas personas interviniendo los miembros del equipo de identificación el menor tiempo posible.

12. Equipo de psicólogos

Para atención de los familiares y de aquellas personas afectadas por el accidente.

13. Personal auxiliar

Personal de cocina, personas hábiles en manualidades y personal de limpieza. Este grupo se puede encontrar en la zona del desastre y lo puede proporcionar la Concejalía de Sanidad y Medio Ambiente del ayuntamiento del municipio, Cruz Roja o Protección Civil.

14. Personal voluntario

Todo este personal debe ser seleccionado correctamente y estar adecuadamente identificado mediante tarjetas de identidad.

11

EL ADN EN LAS CIENCIAS FORENSES

Eva Fernández Domínguez

*Profesora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria.
Sección Biología Forense. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid*

Cristina Gamba

Licenciada en Biología

Ana María López Parra

*Profesora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria.
Sección Biología Forense. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid*



INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

El análisis de polimorfismos del ADN en vestigios biológicos de interés forense o en la investigación biológica de la paternidad comenzó a ser empleado por primera vez en 1985. En el primer caso, las autoridades británicas pidieron una prueba biológica de filiación en un asunto de inmigración. Ante la sospecha de falsificación del pasaporte de Andrew Sarbah, un joven nacido en Londres y descendiente de una familia de Ghana, las autoridades solicitaron que demostrara que era hijo de Christine Sarbah y así descartar que se tratara en realidad de un primo de Andrew, y por tanto, no ciudadano británico. Se llevaron a cabo una serie de ensayos con marcadores clásicos (grupos sanguíneos, proteínas séricas, enzimas eritrocitarias y sistema HLA), obteniendo como resultado que podía ser tanto hijo de Christine como de la hermana de Christine. Su abogado solicitó la colaboración del equipo de Alec Jeffreys, de la Universidad de Leicester, que había puesto a punto y publicado una nueva técnica de identificación individual denominada *DNA fingerprinting* o huella genética. Esta técnica se basaba en la utilización de unas regiones de ADN repetitivas, muy polimórficas y con herencia mendeliana (Jeffreys *et al.*, 1985a,b). Mediante el análisis de la huella genética de Andrew y de sus presuntos familiares, la madre y los tres hermanos, se pudo confirmar la maternidad (Jeffreys *et al.*, 1985c; Aronson, 2005). Tras este primer éxito, se empezó a aplicar en procesos penales en Inglaterra a partir de 1986. En un caso judicial, la prueba del ADN contribuyó a la identificación del culpable de la violación y asesinato de dos jóvenes, en 1983 y 1986, y a la puesta en libertad del principal sospechoso (Gill y Werrett, 1987).

Desde entonces la tecnología del ADN y su aplicación en el campo forense ha experimentado un avance espectacular, constituyendo en la actualidad una prueba de gran importancia en los procesos penales.

ETAPAS EN EL PROCESAMIENTO DE UNA MUESTRA

El procesamiento de una muestra, recogida por ejemplo en la escena del crimen o tomada en una prueba de paternidad, sigue una serie de pasos que tienen como objetivo principal la obtención de un perfil genético. Según el tipo de muestra, la información que se quiera obtener y otras circunstancias se utilizarán unos protocolos o procedimientos específicos para cada caso. Así el procedimiento general, de una manera muy simplificada, constaría de las siguientes etapas. Una vez que la muestra llega al laboratorio, en primer lugar el ADN será extraído de las células. Según el tipo de muestra y/o si existe la sospecha de que pueda tratarse de una mezcla de muestras (saliva-sangre, espermatozoides-fluido vaginal, etc.), se utilizarán protocolos distintos. Una vez extraído el material genético se deberá cuantificar el ADN recuperado. Según la información que se quiera obtener se analizará material genético de origen diferente, ya que puede proceder de las mitocondrias (ADN mitocondrial) o del núcleo de las células (ADN cromosómico). En cualquiera de los casos, para poder obtener un

perfil genético tan sólo se estudian determinadas regiones del genoma aunque se necesitan millones de copias de estas regiones para poderlas analizar. El proceso de obtención de múltiples copias a partir de un fragmento de ADN se lleva a cabo mediante la reacción en cadena de la polimerasa o PCR (*Polymerase Chain Reaction*). Según las regiones analizadas, las tecnologías aplicadas para caracterizarlas, y así obtener el perfil genético, serán distintas.

Una vez obtenido el perfil, se puede comparar con el de otras muestras, bien recogidas en el lugar de los hechos, bien con muestras de referencia (indubitadas), bien de otros individuos con los que se quiere establecer una relación de parentesco (por ejemplo padre e hijo en una prueba de paternidad). A continuación, exista coincidencia o no entre los perfiles genéticos, es necesario comparar el perfil obtenido con los que están presentes en las bases de datos para conocer su frecuencia en la población de procedencia del individuo. Por último se calculará la probabilidad de que otro individuo obtenido al azar en la población tenga el mismo perfil genético que el obtenido en la muestra.

TIPOS DE EVIDENCIAS BIOLÓGICAS

En la investigación pericial de un indicio biológico una etapa limitante es la recogida de la muestra. Una toma de muestras inadecuada puede dañar las mismas, imposibilitando su posterior procesamiento. Por esta razón se redactó, entre otros, un documento elaborado por el Grupo Español y Portugués de la Sociedad Internacional de Genética Forense (GEP-ISFG) en el año 1999 titulado *Recomendaciones para la recogida y envío de muestras con fines de Identificación Genética*. En dicho documento se establece un conjunto de recomendaciones para la recogida y remisión de muestras para el análisis del ADN, y así poder garantizar su autenticidad e integridad. Este documento se aprobó en la reunión del GEP-ISFG del año 2000 y fue publicado por el Ministerio de Justicia en el año 2001.

Teóricamente, se puede extraer material genético de cualquier indicio biológico. Además, gracias a los importantes desarrollos técnicos obtenidos en la última década, es posible obtener resultados aceptables a partir de vestigios con cantidades críticas de ADN o con ADN muy degradado. Los vestigios biológicos que más comúnmente reciben los laboratorios forenses son sangre, esperma, saliva, pelos, tejidos biológicos, uñas, restos óseos y dientes.

1. SANGRE

La sangre se compone de elementos formes y plasma sanguíneo. Los elementos formes son los glóbulos blancos o leucocitos, los glóbulos rojos o eritrocitos y las plaquetas. Los eritrocitos son células maduras especializadas en el transporte de oxígeno por medio de la hemoglobina. Carecen de núcleo y orgánulos del tipo de las mitocondrias, y por tanto carecen de ADN. Las plaquetas, que no son células completas sino pequeños fragmentos de células, carecen también de

núcleo y de ADN. En cambio, los leucocitos contienen núcleo y mitocondrias, y son por tanto el origen del ADN que se extrae de la sangre. El número normal de leucocitos en sangre se encuentra entre 5-10 millones de células por mililitro de sangre. Esto equivale a una concentración de ADN que puede variar entre 30-60 Ög/ml en sangre periférica (Baechtel, 1989).

La sangre es la muestra biológica más común, tanto en criminalística como en pruebas de identificación personal. Puede presentarse líquida o en forma de manchas. En el caso de muestra líquida puede ser obtenida del individuo mediante punción venosa y en ese caso, a partir de un volumen reducido, en términos de microlitros, se puede llevar a cabo la extracción de ADN. También es posible obtener sangre líquida de un cadáver en cuyo caso sería sangre postmortem, y se suele tomar un mayor volumen de muestra.

Dado el volumen de muestra necesario para una extracción de ADN, se suele tomar muestras de sangre en forma de mancha. En este caso, las manchas pueden proceder de un individuo o recogerse en el lugar del delito. Si se obtienen del individuo, se llevará a cabo una punción capilar, del dedo o del talón, y se aplicarán unas gotas de sangre en una tarjeta, cuya composición permite la inmovilización de los ácidos nucleicos.

En el caso de manchas de sangre recogidas en el lugar del delito, los soportes pueden ser muy variados, desde tejidos hasta superficies no absorbentes, como paredes o muebles, y en cada caso la recogida de la muestra dependerá de las características del soporte.

2. SEMEN

El semen o esperma es un líquido filante, de color opalino y de olor típico, que consta de dos elementos fundamentales: las células o espermatozoides, portadoras del material hereditario, y el plasma seminal. Los espermatozoides están compuestos por la cabeza, el cuello, la parte intermedia y la cola. En la cabeza es donde se localiza el núcleo haploide (es decir, con una dotación cromosómica, paterna o materna) portador de la información genética y en la parte anterior de la cola (pieza intermedia) se localizan las mitocondrias. El volumen de un eyaculado típico varía entre 1,5-5 ml de semen, y el número medio de espermatozoides es de 150×10^6 por mililitro de semen (Mann y Lutwak-Mann, 1981). Así la concentración de ADN en semen, de media 450 Ög/ml , es considerablemente más alta que en sangre. Además cada mililitro de semen puede contener aproximadamente 5×10^6 leucocitos que contribuyen con 30 Ög/ml de ADN (Mann y Lutwak-Mann, 1981).

Este tipo de muestras suelen llegar al laboratorio en forma de manchas en tejidos. Cuando se toman del cuerpo de una persona (por ejemplo del canal vaginal o del recto) se emplean torundas o hisopos. Además en casos de agresiones sexuales también se llevan a cabo lavados vaginales, con 10 mililitros de suero fisiológico, para recuperara restos de semen. También puede recogerse este tipo de muestra en estado líquido en los preservativos que se puedan encontrar en el lugar de los hechos.

3. SALIVA

La saliva es el producto de las glándulas exocrinas de la cavidad bucal. Se caracteriza por ser una secreción ligeramente alcalina, producida constantemente por la boca. La secreción salival del hombre varía entre 1-1,5 litros diarios. Tiene dos funciones básicas en cada una de sus dos fracciones: una fracción mucosa, que se encarga de la lubricación, y una fracción serosa que contiene la ptialina, una alfa-amilasa que desempeña una función enzimática desdoblando los glúcidos. Otros elementos de la saliva son el agua y diversos elementos como el calcio, el sodio, el potasio, el magnesio, el azufre y el nitrógeno (Arroyo, 1995). La saliva en sí no contiene ADN pero se encuentra en un medio lleno de células epiteliales, que se desprenden continuamente de las paredes bucales y forman parte de la saliva (Prieto, 2002).

Este tipo de muestras se obtienen frotando la parte interna de los carrillos con hisopos estériles, cuando se toman directamente en el individuo, aunque también se pueden obtener impregnando algún soporte absorbente como por ejemplo chicles o cigarrillos (GEP, 2001).

4. PELO

El pelo es una formación queratinizante derivada de la epidermis. Consta de tallo y raíz, esta última inserta en la dermis. El bulbo, en el extremo de la raíz, se asienta sobre el folículo que contiene la estructura celular generadora del pelo. El ciclo de crecimiento del pelo consta de tres fases: anagen, catagen y telogen (crecimiento, moderada actividad y cese de actividad celular, respectivamente), creciendo a un ritmo de aproximadamente 0,35 mm por día. En el bulbo capilar se localizan las células que se van dividiendo por mitosis y van constituyendo el pelo. A medida que van madurando estas células, su citoplasma va siendo ocupado por la proteína de la queratina. Por tanto son los pelos en fase anagénica o los pelos con bulbo los más adecuados para llevar a cabo análisis de ADN. El tallo consta de tres partes: cutícula, corteza y médula, cuyo aspecto global observado con el microscopio puede aportar información identificativa de interés. Un fragmento de pelo sin bulbo, es decir sólo el tallo, contendrá poca cantidad de ADN nuclear (es decir, ADN presente en el núcleo de la célula) con lo que normalmente se analizará el ADN mitocondrial.

5. CÉLULAS DE DESCAMACIÓN Y TEJIDOS

Las células de descamación se pueden recoger en cualquier objeto (ropas, armas, etc.) que hayan estado en contacto con la piel o tejido epitelial. Según las características del soporte se tomarán las muestras de una manera u otra. Por ejemplo en el caso de soportes no absorbentes, se emplearán hisopos estériles empapados o se raspará con un bisturí (GEP, 2001).

En principio cualquier tejido biológico, que es un conjunto de células ordenadas regularmente, es una fuente adecuada para llevar a cabo un análisis de ADN.

Este tipo de muestra se recoge normalmente en cadáveres. Según el estado del cadáver es recomendable la toma de muestra a partir de unos tejidos u otros. Así, según las recomendaciones que aparecen recogidas en el documento del GEP ya citado, se indica que en el caso de cadáveres se deben de tomar fragmentos de músculo esquelético. Este tipo de tejidos, junto con el músculo cardíaco, son los más resistentes a la putrefacción. También se pueden emplear como muestras biopsias incluidas en parafina y preparaciones histológicas que se puedan conservar en hospitales, procedentes del fallecido. No es recomendable la utilización de tejidos fijados en formol o a partir de cadáveres embalsamados, ya que el formol (no tamponado) degrada las moléculas de ADN.

6. HUESO

Los huesos están compuestos principalmente por tejido óseo, un tipo especializado de tejido conjuntivo constituido por células y componentes extracelulares calcificados. Poseen cubiertas de tejido conjuntivo (periostio) y cartílago, vasos y nervios. Algunos contienen tejido hematopoyético y adiposo (médula ósea). Principalmente existen dos tipos de hueso: compacto y esponjoso. El hueso esponjoso está constituido por un retículo tridimensional de espículas óseas ramificadas (trabéculas), que delimitan sistemas de espacios intercomunicados ocupados por la médula ósea. El hueso compacto aparece como una masa sólida continua, en la cual sólo se ven espacios con la ayuda del microscopio (Fawcett, 1997). En huesos largos típicos el tallo del hueso está compuesto por hueso compacto y los extremos por hueso esponjoso. Así según Fawcett (1997) el tejido óseo está compuesto por:

6.1 Sustancia intersticial mineralizada (matriz ósea)

Con dos componentes que son la matriz orgánica, compuesta por fibras de colágeno incluidas en una sustancia fundamental rica en proteoglucanos, y las sales inorgánicas (fundamentalmente un tipo de fosfato cálcico que se reordena para formar hidroxapatita).

6.2 Células óseas: células osteoprogenitoras, osteoblastos, osteocitos y osteoclastos

Las células osteoprogenitoras son más activas durante la fase de crecimiento de los huesos, aunque también se reactivan durante la vida adulta en situaciones de reparación de fracturas. Los osteoblastos son los responsables de la formación de tejido óseo nuevo. Los osteocitos son las células principales del hueso completamente formado y residen en las lagunas situadas en el interior de la sustancia intersticial calcificada, y por último, los osteoclastos se encargan de reabsorber o eliminar la materia ósea que es sustituida por hueso neoformado.

Aunque las células osteoprogenitoras, osteoblastos y osteocitos se consideran como tipos celulares distintos, se cree que uno puede transformarse en otro y se

les puede considerar como estadios funcionales diversos de un mismo tipo celular. Los osteoclastos provienen de los monocitos formados en la médula ósea. Al tratarse de células nucleadas contienen ADN pero existen muestras de huesos más adecuadas que otras. Así son los huesos en los que se desarrolla la hematopoyesis, ricos en médula ósea, los más ricos en ADN y por tanto, fémur, tibia, húmero, esternón o costillas son los más adecuados para este tipo de análisis, eligiendo tejido óseo compacto por encontrarse el ADN más protegido (Prieto, 2002).

7. DIENTES

Una persona adulta tiene 32 dientes permanentes que fueron precedidos por un conjunto de 20 dientes deciduos que comenzaron a erupcionar a los 7 meses de edad (Fawcett, 1997). Los dientes según su forma, posición y función se clasifican en incisivos, caninos y molares.

Los dientes, según Fawcett, constan de una corona, parte del diente visible; una o más raíces, que ocupan los huecos o alveolos óseos del maxilar o de la mandíbula; y la región que une la corona con la raíz que es el cuello o cerviz y que se sitúa en la encía marginal. Las partes duras del diente están formadas por tres tejidos diferentes: la dentina, el esmalte y el cemento. La mayor parte del diente está cubierto por la dentina y su superficie externa está recubierta por el esmalte. En la raíz, el diente está recubierto por una capa de cemento. Las partes blandas son la pulpa, que ocupa la cámara pulpar, la membrana peridontal que une la raíz con el hueso alveolar y la encía.

Las células productoras de la dentina son los odontoblastos que se localizan en la periferia de la cavidad pulpar, debajo de la dentina. Las células productoras del esmalte son los ameloblastos. En el cemento que cubre la raíz se encuentran los cementocitos y los cementoblastos. En la pulpa también se encuentran, en pequeño número, linfocitos, macrófagos, etc., además de los odontoblastos que se localizan en la periferia de la pulpa. Todas estas células tienen núcleo y mitocondrias, siendo lo más adecuado el análisis de las células presentes en la pulpa ya que están más protegidas de las agresiones externas. Además, a la hora de elegir los dientes, se recomienda recoger molares ya que son los que contienen más pulpa (Prieto, 2002). Respecto a la pulpa hay que tener en cuenta que, dependiendo de la antigüedad de la muestra, puede que ésta se halle vacía. No obstante, en muestras forenses frescas, sí hay pulpa. Por último, se debe elegir aquellas piezas que no estén partidas o con caries.

8. UÑAS

Las uñas están formadas por la proliferación y queratinización de las células epiteliales en una matriz denominada ungueal (Fawcett, 1997). Las uñas como fuente de material genético resultan interesantes por dos motivos. En primer lugar como fuente de ADN por sí mismas y en segundo lugar por la presencia de restos de piel o sangre procedentes de otros individuos en caso de que hubiera lucha.

9. OTROS TIPOS DE MUESTRAS

Aunque sangre, saliva, fluido vaginal y esperma, restos óseos y dientes son las muestras que más comúnmente llegan al laboratorio, existen otras fuentes de ADN como orina, heces, caspa, líquido amniótico, etc. Normalmente en estos casos la cantidad de ADN recuperada es menor, ya que por ejemplo la orina, por sí misma carece de células, y el ADN extraído proviene de las células que se desprenden del tracto urinario, así como leucocitos y eritrocitos, que a su vez se encuentran muy diluidos.

LA MOLÉCULA DE ADN

Las moléculas de ADN (ácido dextrirribonucleico) están formadas por cadenas de nucleótidos. Cada nucleótido está constituido por un ácido fosfórico, una pentosa (desoxirribosa o 2-desoxi-D-ribosa) y una base nitrogenada (púrica o pirimidínica). Las bases pirimidínicas son compuestos que derivan de un anillo pirimidínico hexagonal y pueden ser de tres tipos: citosina (C), timina (T) y uracilo (U). Las bases púricas presentan un segundo anillo pentagonal unido al anillo hexagonal y pueden ser de dos tipos: adenina (A) y guanina (G) (Alberts *et al.*, 2004). La unión de una base (púrica o pirimidínica) al carbono 1' de la pentosa por un enlace N-glucosídico forma un nucleósido. Y la unión del ácido fosfórico al nucleósido por el carbono 5' forma el nucleótido. El encadenamiento de los nucleótidos se realiza mediante enlaces fosfodiéster entre el grupo fosfato unido al azúcar de un nucleótido y un grupo hidroxilo del azúcar del siguiente nucleótido. La síntesis de las cadenas de ácidos nucleicos se realiza a partir de nucleósidos trifosfato de manera que en la formación del enlace fosfodiéster entre los nucleótidos se liberará fosfato inorgánico.

Su estructura se caracteriza por presentar una doble cadena con forma de doble hélice, tal como describieron Watson y Crick en 1953. Cuando la hélice gira hacia la derecha (en sentido de las agujas del reloj), se denomina forma B, que es la más común en las células, aunque existen otras variantes como las formas A y Z (Luque y Herráez, 2001). Las 2 cadenas que constituyen la doble hélice están unidas mediante puentes de hidrógeno que se establecen entre las bases. Estas uniones siguen reglas fijas, de manera que la adenina se aparea mediante dos puentes de hidrógeno con la timina de la cadena complementaria, y la citosina se aparea mediante tres puentes de hidrógeno con la guanina. De esta manera ambas cadenas son complementarias y conociendo la secuencia de una cadena se puede conocer la de la cadena complementaria. Para que tengan lugar las uniones entre las bases es necesario que ambas hélices sean antiparalelas, es decir, las pentosas de una de las cadenas quedan en posición invertida respecto a las pentosas de la otra cadena, siendo la orientación de una cadena 5'-3' y de la otra cadena, 3'-5'. Las bases nitrogenadas se sitúan hacia el centro de la columna formada por la doble hélice mientras que los fosfatos quedan hacia fuera. El enrollamiento de las 2 hebras con forma de hélice da lugar a 2

surcos. El más ancho se denomina surco mayor y el más estrecho, surco menor (Alberts *et al.*, 2004).

En los cromosomas de las células eucariotas, la doble hélice sufre giros y doblamientos para asociarse con las histonas y formar los nucleosomas. Así cada nucleosoma está formado por 8 moléculas de histonas rodeadas por 2 vueltas de la doble hélice de ADN, que comprende 146 nucleótidos. A la entrada y salida de cada nucleosoma, la doble hélice se asocia a otra molécula de histona (H-1). Cada nucleosoma está separado del siguiente por una región de ADN espaciador, de una longitud variable de más de 80 pares de nucleótidos (Alberts *et al.*, 2004). Esta estructura de nucleosomas espaciados se conoce como fibra básica de cromatina o estructura de cuentas de rosario (Luque y Herráez, 2001). Esta fibra se enrolla para dar lugar a una forma más condensada, denominada solenoide o fibra de 30 nm, en la que cada vuelta del solenoide contiene algo más de 6 nucleosomas (Luque y Herráez, 2001). El complejo formado por el ADN cromosómico, las histonas, las proteínas cromosómicas no histonas y ARN constituyen la cromatina, que se empaqueta, con la consiguiente formación de bucles y enrollamientos, constituyendo los cromosomas (Lacadena, 1999).

En el núcleo de cada célula humana se encuentran 23 pares de cromosomas, 22 de ellos denominados autosómicos y el par restante corresponde a los cromosomas sexuales (X e Y). En los gametos se encuentran la mitad de los cromosomas, y por tanto se dice que son células haploides. En la fecundación, se unen el gameto femenino con el masculino, resultando el cigoto que llevará las dos series de cromosomas, una procedente del padre y otra de la madre, siendo por tanto una célula diploide. Según contenga el gameto masculino un cromosoma X o un cromosoma Y, el individuo originado será un varón (XY) o una mujer (XX). El ADN que se encuentra en los cromosomas se denomina ADN cromosómico o nuclear. Además en las células existe otro tipo de ADN, el ADN mitocondrial, que se encuentra dentro de unos orgánulos celulares llamados mitocondrias, localizados en el citoplasma.

TIPOS DE POLIMORFISMOS

La cantidad total de ADN en una célula es alrededor de 3.000 millones de pares de bases. Aproximadamente el 98% del ADN es no codificante, al cual se le atribuye, entre otras, una función estructural y reguladora pese a que su función no está totalmente determinada. El 2% restante es codificante y en esta porción se localizan los genes implicados en la síntesis de proteínas. Se denomina *locus* (*loci* en plural), desde un punto de vista molecular, al segmento de ADN que correspondería a un gen determinado, aunque también se utiliza este término para regiones de ADN que no son genes. A las posibles alternativas de la información genética contenida en un *locus* determinado se le denomina alelo (Lacadena, 1999). Al ser la especie humana diploide, presenta dos alelos por cada gen o *locus*, uno de ellos procedente del padre y el otro de la madre. Si los alelos del mismo gen o marcador de ambos cromosomas homólogos son

idénticos se dice que los alelos son homocigotos. Si los dos alelos son distintos, heterocigotos. En el ADN no codificante se concentra la mayor parte de la variabilidad genética entre individuos. La gran mayoría de nuestro ADN (sobre 99,7%) no varía entre las personas, sin embargo, sólo con las variaciones encontradas en el 0,3% restante (aproximadamente 10 millones de nucleótidos) se puede diferenciar a las personas, siendo cada individuo único (Butler, 2005).

Para alcanzar a entender de forma completa por qué estos *loci* son tan útiles a la hora de poder discriminar individuos, se describirán brevemente dos conceptos que se aplican de forma general al ADN y en concreto a las regiones polimórficas.

Estos dos conceptos se conocen como universalidad y variabilidad (Alonso, 2004) y hacen referencia a ciertas características del ADN, que han hecho de esta macromolécula una herramienta imprescindible en el ámbito forense. La universalidad se refiere al hecho de que cualquiera que sea el vestigio biológico que obtengamos de una persona, siempre encontraremos el mismo ADN y por tanto los mismos marcadores genéticos. La variabilidad es un concepto que ya se ha explicado anteriormente; desde el punto de vista forense, lo interesante es encontrar zonas del genoma con variabilidad, es decir, regiones que presenten secuencias diferentes entre los individuos de una población. Esta variabilidad se puede clasificar en polimorfismos de secuencia y polimorfismos de longitud.

1. POLIMORFISMOS DE LONGITUD

En el genoma humano aparecen ampliamente distribuidas secuencias de ADN que aparecen en copias múltiples (ADN repetitivo). Estas secuencias de ADN repetitivo presentan diversos tamaños y aparecen distribuidos de manera dispersa o agrupada. En el caso de la identificación humana se analiza ADN repetitivo en regiones no codificantes. Las secuencias que se repiten se denominan repeticiones o unidades de repetición. Así cada unidad de repetición va a aparecer en el genoma un número de veces, pudiendo ser clasificada como ADN moderadamente repetitivo y ADN altamente repetitivo (Luque y Herráez, 2001).

El ADN altamente repetitivo (ADN satélite) está formado por unidades de repetición pequeñas (2-50 pb) repetidas en tándem entre unos miles y un millón de veces. Aparecen agrupadas en lugares específicos de varios cromosomas que corresponden a las regiones heterocromáticas, principalmente en torno al centrómero y en los telómeros (Luque y Herráez, 2001).

El ADN moderadamente repetitivo aparece disperso por todo el genoma y el número de repeticiones no es tan elevado (100-10.000 veces). Según como se distribuyan las unidades de repetición, se puede hablar de bloques dispersos de repeticiones en tándem o de repeticiones dispersas. En el primer caso las unidades de repetición forman bloques y en el segundo caso no. Las repeticiones en tándem, dependiendo del tamaño de la unidad de repetición, se denominan minisatélites, cuya unidad de repetición consta de entre 10-65 pb o microsatélites, con una unidad de repetición de 1-6 bp. Por la misma razón, se distinguen

diferentes tipologías de repeticiones dispersas: las secuencias SINE (*Short Interspersed Nuclear Elements*) de entre 100-500 pb y las secuencias LINE (*Long Interspersed Nuclear Elements*) de miles de pares de bases.

En la actualidad, para los análisis de identificación forense se emplean mayoritariamente los marcadores microsatélites, desarrollados con más amplitud en el siguiente apartado.

2. MARCADORES MICROSATÉLITES

Los microsatélites o STR (*Short Tandem Repeat*) son regiones polimórficas compuestas por una secuencia de 1-6 pares de bases (Kayser *et al.*, 2004) que se repite en tándem. La base de su polimorfismo genético reside en el número de repeticiones. Según el número de nucleótidos que componen la unidad de repetición, se denominan mononucleótidos (1pb), dinucleótidos (2pb), trinucleótidos (3pb), tetranucleótidos (4pb), pentanucleótidos (5pb) y hexanucleótidos (6pb). Los mononucleótidos no suelen ser empleados a causa de las diferencias muy reducidas, de un solo nucleótido, entre alelos distintos. Los microsatélites pueden ser simples, cuando contienen cadenas de unidades de repetición (monómeros) con la misma secuencia ininterrumpida, o complejos, si constan de más de un tipo de unidad de repetición y/o contienen interrupciones (Kayser *et al.*, 2004). En ocasiones un *locus* no contiene todas las unidades de repetición completas. Sería el caso de las microvariantes. Así por ejemplo el alelo 9.3 del locus TH01 contiene 9 unidades de repetición de 4 nucleótidos, es decir 9 tetranucleótidos y una unidad de repetición de 3 nucleótidos (Butler, 2005).

Los microsatélites fueron descubiertos casi simultáneamente en cromosomas autosómicos (Edwards *et al.*, 1989, 1991, 1992) como en el cromosoma Y (Y-STR) (Roewer *et al.*, 1992) y constituyen aproximadamente el 3% del genoma (*International Human Genome Sequencing Consortium*, 2001).

La pérdida o ganancia de unidades de repetición se origina probablemente por un proceso de deslizamiento de la polimerasa durante la replicación denominado *replication slippage* (Levinson *et al.*, 1987). Concretamente, durante la replicación puede ocurrir que la cadena de ADN de nueva síntesis no se realinee correctamente con la cadena molde, llevando a la aparición de un bucle. Por ello, las dos cadenas presentarán diferentes longitudes, con la consecuente ganancia o pérdida de una unidad de repetición. Experimentos *in vitro* confirmaron que la enzima ADN polimerasa ocasiona el fenómeno de *replication slippage* (Schlotterer *et al.*, 1992). Este fenómeno también ocurre durante las amplificaciones por PCR (*Polymerase Chain Reaction*) y se detecta en forma de *stutter bands*, bandas o picos adicionales desplazados de una o dos unidades de repetición respecto al alelo original o alelo verdadero (Hauge *et al.*, 1993; Murray *et al.*, 1993). Experimentos cuantitativos han demostrado que la tasa de deslizamiento (*slippage*) aumenta con el número de unidades de repetición y es inversamente proporcional a la longitud de las unidades de repetición (Shinde *et al.*, 2003). Así, los tetranucleótidos suelen presentar menos *stutter bands* que los trinucleótidos,

dinucleótidos y los mononucleótidos. Generalmente las *stutter bands* aparecen como productos con un tamaño más pequeño que el alelo verdadero, por lo que se deduce que la tasa de contracción mutacional de la *Taq* polimerasa debe ser mucho más alta que la tasa de expansión (Shinde *et al.*, 2003). No hay evidencia de que existan diferencias en los patrones de mutación de microsatélites de cromosoma Y y autosómicos (Heyer *et al.*, 1997; Kayser *et al.*, 2000), lo que sugiere que el mecanismo general de mutación en microsatélites es independiente de la recombinación (Kayser *et al.*, 2000).

En los análisis de identificación humana se emplean principalmente los microsatélites, debido a su pequeño tamaño, entre 100-400 pb, que permite obtener resultados incluso en muestras degradadas. Además, desde un punto de vista técnico, su menor tamaño permite poder analizar simultáneamente varios *loci* (reacciones *multiplex*). Entre los criterios para seleccionar los STR empleados en la identificación humana se encuentran: el elevado poder de discriminación con alta heterocigosidad, la localización separada en los cromosomas para evitar el ligamiento (es decir, asociación entre marcadores), la robustez y la reproducibilidad de los resultados en reacciones *multiplex*, la baja tasa de mutación, la baja aparición de *stutter* y una longitud de alelos entre 90-500 pb (Gill *et al.*, 1996; Carracedo y Lareu, 1998).

3. POLIMORFISMOS DE SECUENCIA

296

Los polimorfismos de secuencia se refieren principalmente a las variaciones de un solo nucleótido. También se les conoce con el nombre de marcadores bialélicos, marcadores binarios, dialélicos o polimorfismos de eventos únicos (*Unique Event Polymorphisms* o UEP), e incluyen tanto las sustituciones de una base en el ADN (*Single Nucleotide Polymorphisms* o SNP) como pequeñas inserciones o deleciones (*indels* o DIP) (Jobling *et al.*, 2004).

Los principales causantes de estos procesos son la incorporación errónea de nucleótidos durante la replicación y los fenómenos de mutagénesis causados por modificaciones químicas o físicas (Jobling *et al.*, 2004).

Este tipo de polimorfismos es más abundante en el genoma con respecto a, por ejemplo, los microsatélites. Según datos del *International HapMap*, un proyecto internacional cuyo objetivo es describir los patrones de variación de la secuencia del genoma humano, existen alrededor de 10 millones de SNP en las poblaciones humanas (www.hapmap.org/abouthapmap.html). Sin embargo, tal como indica Butler (2005), tan sólo el 20-30% se puede emplear con fines identificativos. Dado que normalmente cada SNP sólo presenta dos alelos posibles, para obtener una capacidad de discriminación similar a la obtenida con los microsatélites, es necesario analizar entre 25-45 SNP (Chakraborty *et al.*, 1999). En el caso de los análisis de identificación humana, los SNP se emplean fundamentalmente para estimar el origen étnico de la muestra, predecir rasgos físicos y obtener más información sobre muestras degradadas. Los SNP presentan tasas de mutación (porcentaje de veces en que una base es cambiada) más

bajas que otros marcadores como los microsatélites. Así, según Jobling *et al.* (2004), la tasa de mutación de los SNP estaría entre 10^{-8} y 10^{-7} mientras que la de los microsatélites estaría entre 10^{-3} y 10^{-2} . Debido a su baja tasa de mutación, los SNP permiten relacionar un perfil genético con el origen étnico o poblacional del individuo estudiado, sobre todo en el caso de marcadores haploides como los que están situados en el ADN mitocondrial o en el cromosoma Y. Cada individuo presenta una determinada combinación de SNP para los sistemas polimórficos estudiados en cada caso. Dicha combinación o conjunto de alelos se define como haplotipo. El conjunto de mutaciones que comparten diferentes haplotipos y que se deben a un origen común, se denomina haplogrupo. Los polimorfismos de secuencia presentes en el ADN mitocondrial serán tratados con más profundidad en otro apartado.

TÉCNICAS MÁS EMPLEADAS PARA EL ESTUDIO DE LOS POLIMORFISMOS DEL ADN

1. TÉCNICAS TRADICIONALES: *DNA FINGERPRINT* (RFLP)

Entre las técnicas tradicionales para el estudio de ADN se encuentra el análisis de polimorfismos de fragmentos de restricción (RFLP; en inglés *Restriction Fragment Length Polymorphism*). Los RFLP marcaron un hito en el ámbito jurídico ya que fue la primera técnica basada en el análisis de ADN que se admitió como prueba (Gill *et al.*, 1987).

La mencionada técnica venía a remplazar a todos los análisis basados en otros polimorfismos, los llamados clásicos, como grupos sanguíneos proteínas séricas o el sistema HLA. Sin embargo, fueron cayendo en desuso siendo sustituidos por la técnica de PCR.

Fundamento biológico

Las enzimas de restricción o endonucleasas están presentes en la mayoría de las bacterias y actúan como mecanismo de protección ante la entrada de ADN ajeno al organismo. Su actividad consiste en cortar las cadenas de ADN con una peculiaridad que las hace interesantes, a saber: reconocen una secuencia y siempre cortan por el mismo punto. Esta región se denomina secuencia diana.

Si hay algún polimorfismo en esta secuencia diana será posible analizarlo, ya que se obtendrán dos resultados distintos, en la medida en que la enzima corte o no corte. El proceso de digestión consiste en poner en contacto un aislado de ADN (previamente extraído desde alguna muestra biológica) con varias enzimas de restricción, a una temperatura óptima en la cual la actividad enzimática sea máxima. Estas enzimas realizarán cortes en las cadenas de ADN en función de la secuencia y por tanto producirán diferentes patrones de restricción según las distintas variantes de secuencia o polimorfismos. Estos patrones se basan en las posibles diferencias en el tamaño de los fragmentos. Teniendo en cuenta que las

hebras de ADN poseen millones de nucleótidos y que la combinación de ellos da lugar a infinidad de secuencias distintas, es fácil comprender que en el proceso de digestión, las endonucleasas producirán un patrón de corte prácticamente único para cada persona, de ahí el nombre de *DNA Fingerprint* o huella genética. Denominación que viene a resaltar el carácter único e identificativo de estos patrones de restricción (Martínez Jarreta *et al.*, 1999).

Aparentemente la huella genética resultaba ser la técnica definitiva en el análisis de la variabilidad humana aplicada al ámbito forense, pero los avances técnicos en biología molecular hicieron que fuera rápidamente sustituida.

2. TÉCNICAS ACTUALES: LA PCR

La reacción en cadena de la polimerasa (PCR) supuso una verdadera revolución en el ámbito de la biología molecular. Mediante esta técnica es posible amplificar un fragmento específico de ADN. Muestra una serie de ventajas frente a otras técnicas de análisis que han hecho de ella una técnica universal e imprescindible en cualquier laboratorio de genética forense.

Se trata de una técnica que nos permite extraer información de prácticamente cualquier vestigio biológico, aunque se encuentre parcialmente degradado. Debido a que se basa en la generación exponencial de copias, es capaz de producir resultados positivos en muestras que contengan una cantidad mínima de ADN. Así, en la actualidad, es posible amplificar material genético a partir de algo más de 100 pg de ADN (Butler, 2005). Además es una técnica rápida que puede ser automatizable.

Otra de las ventajas es que sus resultados son fácilmente estandarizables y es posible elaborar sencillas bases de datos en las que introducir las variantes alélicas obtenidas. A partir de la información contenida en estas bases se pueden aplicar técnicas estadísticas para interpretar los resultados en términos de probabilidad matemática.

Fundamentos de la técnica

El descubrimiento de organismos termófilos, que poseían enzimas del tipo polimerasa (encargadas de la replicación del ADN) y cuya mayor actividad se daba a altas temperaturas, abrió la posibilidad de controlar y acelerar el proceso natural de replicación. Mullis *et al.* se percataron de este hecho desarrollando la técnica de la PCR, que fue publicada en 1986. A continuación se explicarán brevemente los diferentes pasos del proceso.

La técnica de la PCR se basa en ciclos temperaturas, con tres fases distintas por ciclo. El primer ciclo se denomina desnaturalización, se produce a más de 90 °C y está caracterizado por la separación las dos hebras complementarias de ADN.

Como ya se explicó en el apartado 4, el ADN está formado por dos cadenas complementarias que están unidas por enlaces no covalentes llamados

puentes de hidrógeno, que se forman entre las bases. Estos enlaces se pueden romper si se aplica suficiente temperatura. Se estima que alcanzando los 90 °C se rompen todos los puentes de hidrógeno que existan entre dos hebras de ADN. Una vez separadas las cadenas se disminuye la temperatura hasta aproximadamente 50 °C y se produce el anillado de los cebadores o *primers*.

Los *primers* son pequeñas cadenas de ADN que flanquean la región del ADN que nos interesa replicar. Esta temperatura es suficientemente baja para que estas pequeñas cadenas se unan a sus regiones complementarias. Estos oligómeros (o secuencias de bajo número de nucleótidos) confieren a la PCR su carácter específico ya que su secuencia se diseña para que se anillen únicamente a las regiones que se desea estudiar. La última fase de temperatura se denomina elongación, se desarrolla a 72 °C y en ella la polimerasa replica el ADN a partir de la cadena complementaria correspondiente a una región delimitada específicamente por los *primers*.

3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

La PCR se podría considerar una técnica preanalítica por cuanto los fragmentos obtenidos a partir de ella deben ser analizados por otras técnicas que permitan realizar el tipaje (o determinación de la clase de alelos) de las regiones polimórficas objeto de la amplificación. Las técnicas que se suelen aplicar después de haber llevado a cabo la PCR serán brevemente explicadas a continuación.

3.1 Electroforesis

Tanto las técnicas basadas en fragmentos de restricción como los métodos basados en la amplificación por PCR de STR se basan en la detección de fragmentos de ADN de distintos tamaños. En el caso de la huella genética, el hecho de que se produzca un corte o no, producirá consecuentemente un fragmento de un determinado tamaño o dos (en el caso de producirse el corte) de menor tamaño que el anterior.

Los STR se detectan basándose en el mismo principio y, por ese motivo, también se les denomina polimorfismos de longitud, ya que las diferencias en repeticiones producirán necesariamente diferencias en la longitud de los amplificados.

3.2 Análisis del tamaño molecular

La electroforesis es una técnica analítica que se basa en la separación de las moléculas cuando se las somete a un campo eléctrico y éstas se mueven en un determinado soporte. Las moléculas, de acuerdo con sus características físico-químicas, mostrarán un comportamiento diferencial ante dicho campo eléctrico. Atendiendo a la carga, al tamaño y a la forma, las diferentes especies

moleculares tendrán diferente movilidad electroforética (U) y eso va a permitir diferenciarlas (García-Segura *et al.*, 1996). Las moléculas se van a mover a través de distintos soportes como por ejemplo los geles de agarosa o de acrilamida. Estos polímeros forman una especie de malla o red por la que las moléculas se van a desplazar, ofreciendo más resistencia al movimiento cuanto mayor sea la molécula que la atraviesa. Por tanto la electroforesis va a ser capaz de separar moléculas atendiendo a su carga (por efecto del campo) y a su tamaño (por efecto de la malla o red).

Centrándose en las características físico-químicas del ADN en relación a la electroforesis, se debe recordar que los nucleótidos están cargados negativamente debido a la presencia del grupo fosfato. En consecuencia, las moléculas de ADN se desplazarán hacia el polo positivo. Ya que todos los nucleótidos están cargados de la misma manera, dos cadenas de igual longitud tendrán siempre la misma U, que es lo mismo que decir que los fragmentos de ADN, en una electroforesis, únicamente se separarán en función de sus tamaños. Debido a esta característica del ADN y a la evolución de esta técnica, se puede detectar con suma precisión los tamaños de los fragmentos, de tal forma que actualmente es posible distinguir claramente fragmentos que sólo se diferencian en una base.

Soportes más utilizados para analizar ADN mediante electroforesis

La agarosa es un polisacárido modificado proveniente de las algas de los géneros *Gellidium* y *Gracillaria*. Cuando se calienta se encuentra en forma líquida, pero al enfriarse se transforma en gel. Este gel posee un tamizado molecular (o malla) con un reticulado no demasiado denso (García-Segura *et al.*, 1996). Este reticulado se puede controlar en cierta medida aumentando la concentración de agar al preparar el gel. La resolución de este tipo de soporte, es decir, la capacidad de separar fragmentos de distinto tamaño, no es muy grande. Concretamente, se pueden detectar diferencias de entre 30-50 pares de bases. Por esta razón, los geles de agarosa se suelen utilizar como técnica analítica y no preparativa. Así, son muy útiles por ejemplo, a la hora de comprobar el resultado de una PCR. Además, es posible cortar las bandas de ADN y aislarlas de la agarosa para proseguir con otros análisis.

Otro de los soportes más utilizados son los geles de poli(acrilamida). La acrilamida es un compuesto que al polimerizar forma una malla (tamizado molecular) muy densa. Esto hace que los poros que hay entre este entramado sean muy pequeños. Como consecuencia de lo anterior, la resolución de este tipo de geles es alta en comparación con los geles de agarosa y es posible detectar diferencias de hasta 2 pares de bases. Además poseen otra serie de ventajas: son químicamente inertes frente a las moléculas biológicas, son transparentes, lo que facilita el revelado, y se pueden añadir distintos compuesto químicos –a fin de acentuar las propiedades de separación del gel– en función de la técnica que se quiera desarrollar. Gracias a sus amplias ventajas estos soportes fueron los que se utilizaron en primer lugar para analizar secuencias, y se siguen empleando en numerosas aplicaciones.

4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE ADN

El ADN no se visualiza a simple vista, por lo tanto es necesario marcarlo de alguna forma para poder ver («revelar») el resultado, por ejemplo, del desarrollo de una electroforesis.

4.1 *Revelado con bromuro de etidio*

El bromuro de etidio es una molécula de conformación plana que se intercala entre las bases de ADN. Se suele preparar con los geles de agarosa y durante el desarrollo de la electroforesis se intercala entre las bases de las cadenas de ADN. Una vez finalizada la electroforesis, la manera de revelar el resultado es radiando el gel con luz ultravioleta. El bromuro de etidio, al ser iluminado con esta longitud de onda, produce fluorescencia en el espectro visible, y así aparecerán unas bandas de color amarillo rojizo allí donde haya ADN.

4.2 *Tinción con plata*

En las electroforesis en geles de poliacrilamida uno de los métodos de revelado más empleado consiste en, una vez acabada la electroforesis, tratar el soporte con varias sustancias, entre las cuales se encuentra el nitrato de plata. El nitrato de plata se acumulará en las regiones donde esté presente el ADN. Finalmente un agente químico propiciará que el nitrato de plata se escinda para dar lugar a la precipitación de la plata (oscura), revelando así el emplazamiento de las bandas de ADN.

4.3 *Detección de RFLP mediante sondas*

Las sondas son oligómeros o pequeñas cadenas de ADN que se unen a regiones complementarias de los fragmentos que han corrido en una electroforesis. Las sondas se pueden marcar de diversas formas, aunque la más habitual es el marcaje radioactivo. El procedimiento de revelado consiste básicamente en, una vez desarrollada la electroforesis, realizar una «incubación» en la cual se pone en contacto la superficie del soporte con una serie de sondas que van a marcar las regiones que se espera encontrar. Una vez que las sondas se han unido, se procede a un lavado en el que se eliminan todas aquellas que no lo han hecho porque no han encontrado su correspondiente zona complementaria. Por último se revela el resultado mediante la detección de la radiación que emiten las sondas hibridadas. Las zonas de radiación se verán de nuevo como bandas en las que se identificará, por ejemplo, el patrón de corte de una enzima de restricción (huella genética). Al revelado por radiación se le llama autoradiografía.

5. MARCAJE A NIVEL DE LA PCR

En las técnicas anteriores se detecta la presencia de ADN, una vez finalizada la electroforesis. Pero también es posible, y de hecho es lo más frecuente en las técnicas actuales, marcar las propias cadenas de ADN que se van amplificando en la PCR.

5.1 Marcaje de los primers

Una de las maneras de detectar las cadenas para su posterior análisis es marcando los *primers* (Strachan *et al.*, 2003). La forma más habitual es añadirles por enlace covalente un fluorocromo, es decir, una molécula con la capacidad de excitarse cuando se le incide con un haz luminoso, emitiendo dicha molécula luz en una determinada longitud de onda, que va a ser reconocida por un fotodetector.

Así la detección se puede informatizar y automatizar, ya que a medida que se desarrolla la electroforesis, las cadenas ya marcadas, al correr, llegarán a un punto donde serán atravesadas por un láser. En ese momento los fluorocromos emitirán luz que será recogida por los fotodetectores. Finalmente un ordenador procesará esta información y como resultado del proceso se obtendrá un electroferograma. Un electroferograma es simplemente la representación gráfica del desarrollo de la electroforesis, en el cual en el eje de las Y se muestra la intensidad de la señal y en el de las X el tiempo por el que los fragmentos de ADN van atravesando el haz de luz. De esta forma los fragmentos más cortos aparecerán antes en el electroferograma y viceversa. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de electroferograma. En esta figura se pueden observar los picos que se obtienen cuando los fragmentos al migrar alcanzan el haz del láser.

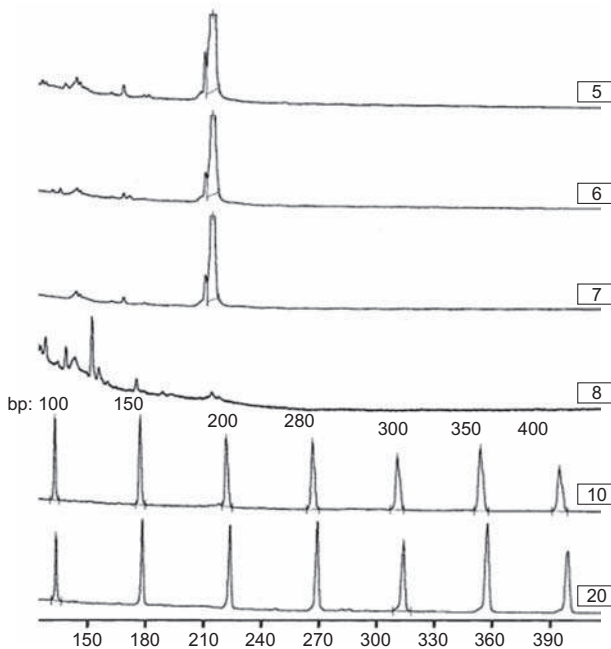


Figura 1. Resultado de una electroforesis

Se trata de un electroferograma producido por un secuenciador ALF de Pharmacia. En el eje de las Y se muestra la intensidad de señal de fluorescencia y en el de las X se muestra el tiempo en minutos. En las calles 5, 6 y 7 han corrido muestras problema, en las calles 10 y 20 han corrido muestras que contienen fragmentos de tamaño conocido. Clave: pares de bases (bp).

5.2 Marcaje de los nucleótidos

Aunque este tipo de marcaje se explicará con mayor profundidad en la siguiente sección, a cuenta de las técnicas de secuenciación, aquí simplemente se adelanta que al igual que en el caso de los *primers*, la forma más habitual de marcar los nucleótidos será con fluorocromos. Estas moléculas también se han desarrollado técnicamente a lo largo de los años, de tal forma que se puede marcar cada nucleótido con un fluorocromo distinto que emitirá luz en distintas longitudes de onda. Estos diferentes fluorocromos permiten diferenciar cada uno de los cuatro nucleótidos, hecho clave para entender la técnica de la secuenciación, que se explicará a continuación.

6. SECUENCIACIÓN

Una vez explicados los fundamentos de la electroforesis y de las diferentes formas de detección o revelado de los fragmentos se procede a describir otra de las técnicas fundamentales de análisis, como es la secuenciación.

Como veremos, ésta es una técnica que tal y como su nombre indica, tiene como fin describir la secuencia de bases (código genético) comprendida en una determinada región del ADN. El resultado suele ser un electroferograma en el que aparecen una serie de picos que representarán cada una de las bases en un orden determinado.

6.1 Secuenciación enzimática (método de Sanger)

Se denomina así porque es una técnica basada en la PCR, por tanto en la actividad enzimática de la polimerasa, a diferencia de la secuenciación química, técnica ya obsoleta. El proceso de amplificación se va a organizar de una forma concreta y con los siguientes elementos:

- a) Los *primers* que flanquean las regiones objeto de la secuenciación. Uno de estos *primers* deberá estar marcado para que se puedan detectar los fragmentos.
- b) Mezcla de nucleótidos: a los nucleótidos convencionales utilizados en la PCR hay que añadir otros que han sido ligeramente modificados químicamente. Esta modificación consiste en que les falta un grupo hidroxilo en 3', de manera que al incorporarse interrumpen la formación de la cadena evitando la formación del enlace fosfodiéster. Por esta razón a estos nucleótidos se les llama también terminadores. Esta interrupción se da al azar de forma que después de la PCR se obtendrán fragmentos de muchos tamaños, tantos como el número de bases o posiciones que tiene el fragmento de ADN que se está amplificando.

Así, se diseñan cuatro reacciones de PCR distintas. En cada reacción el ADN molde y los *primers* serán los mismos, lo que cambia va a ser el tipo de nucleótido terminador, es decir habrá terminadores para cada tipo de base A, G, C y

T. En conclusión, en cada tubo de PCR se encontrará una mezcla de cadenas amplificadas, que son de diferentes longitudes ya que han sido «terminadas» en diferentes posiciones aunque todas «terminan» en la misma base (Cerdán *et al.*, 1997).

Una vez finalizadas las cuatro reacciones de PCR se harán correr los fragmentos en un gel de poliacrilamida. El resultado de la electroforesis se interpretará de la siguiente forma: aparecerán bandas de ADN en cuatro calles. La primera banda en aparecer, la que se encuentra en la parte inferior del gel, corresponde con la primera posición de la cadena (fragmento más pequeño). Si esta banda se encuentra en la calle donde había terminadores A, la primera posición de la cadena será por tanto una A. Después se mirará en qué calle se encuentra la segunda banda y se anotará la base que corresponde a esa posición. Así con todas las bandas se podrá saber la secuencia de la región de interés (Figura 2).

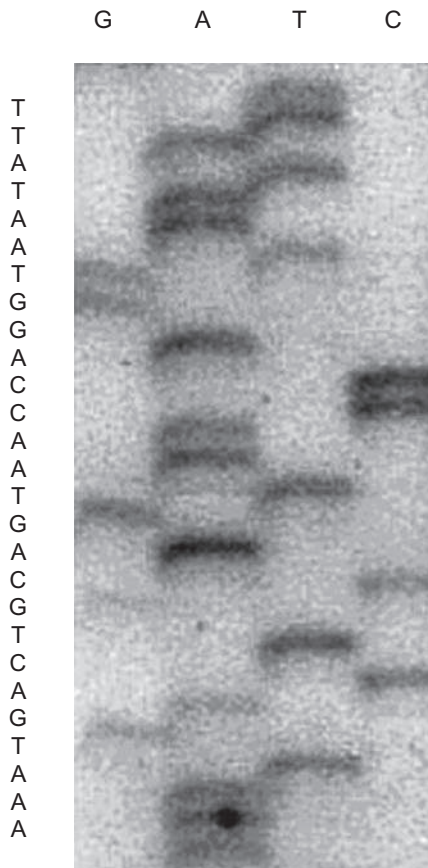


Figura 2. Fotografía de un gel de secuenciación

Las 4 calles corresponden respectivamente a: guanina (G), adenina (A), timina (T) y citosina (C). En el lado izquierdo se representa la secuencia, a partir de la lectura secuencial de las bandas.

El fundamento de la secuenciación automática es el mismo que en el método de Sanger, automatizando la electroforesis y el método de detección (Luque y Herráez, 2001). La forma más habitual de secuenciar automáticamente es hacer una reacción de PCR en la que habrá una mezcla de nucleótidos normales y terminadores. En este caso, los terminadores van a estar marcados cada uno con un fluorocromo distinto, tal y como se explicó en el apartado sobre marcaje de nucleótidos. Al finalizar la PCR, habrá una mezcla de cadenas de distinto tamaño (tantas como posiciones tiene la región amplificada) y cada cadena estará marcada con un fluorocromo distinto en función del terminador. Estas cadenas migrarán en un soporte y se irán detectando a medida que atraviesen un láser y un fotodetector sensible a cuatro longitudes de onda distinta. Finalmente, el software que controla el proceso de electroforesis producirá un electroferograma en el que aparecerá representada la secuencia (Figura 3).

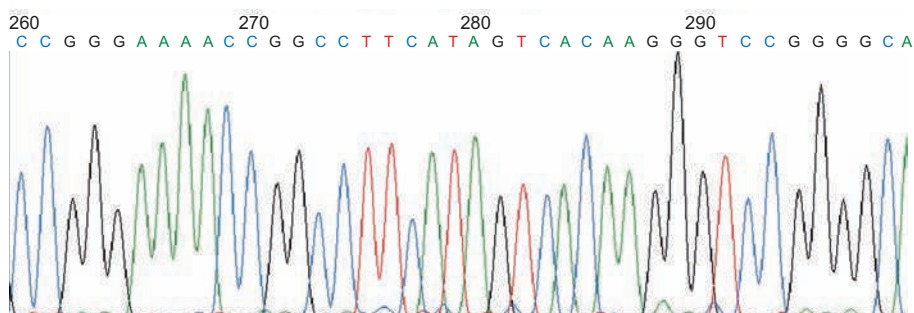


Figura 3. Ejemplo de un electroferograma de una secuencia obtenida mediante secuenciación automática



12

TIPOS DE POLIMORFISMO Y APLICACIONES FORENSES

Eduardo Arroyo Pardo

*Director del Laboratorio de Biología Forense. Escuela de Medicina Legal y Forense.
Universidad Complutense de Madrid*

Carlos Baeza Ritcher

Licenciado en Biología

Miriam Tirado Vizcaino

*Técnico del Laboratorio de Biología Forense. Escuela de Medicina Legal y Forense.
Universidad Complutense de Madrid*



ADN AUTOSÓMICO

Los marcadores autosómicos son aquellos marcadores de ADN nuclear localizados en los 22 pares de cromosomas no sexuales también llamados autosomas. De los varios tipos de marcadores, este apartado se centrará en los microsatélites, ya que son los más empleados, aunque haya otros marcadores de gran interés forense como son los SNP (*Single Nucleotide Polymorphisms*). Entre las ventajas que ha provocado el masivo uso de este tipo de marcadores en el ámbito forense se pueden destacar las siguientes:

- a) Son muy polimórficos. Gracias a sus elevadas tasas de mutación (en relación a otros marcadores), presentan muchas variantes o alelos.
- b) Son sencillos de amplificar. Actualmente en una sola reacción de PCR se amplifican 15-17 marcadores.
- c) Su detección es muy sencilla.
- d) Poseen un gran poder de identificación cuando se combina un número suficiente.
- e) Se construyen bases de datos de fácil estandarización.
- f) En proporción al resultado, no resultan muy costosos económicamente.

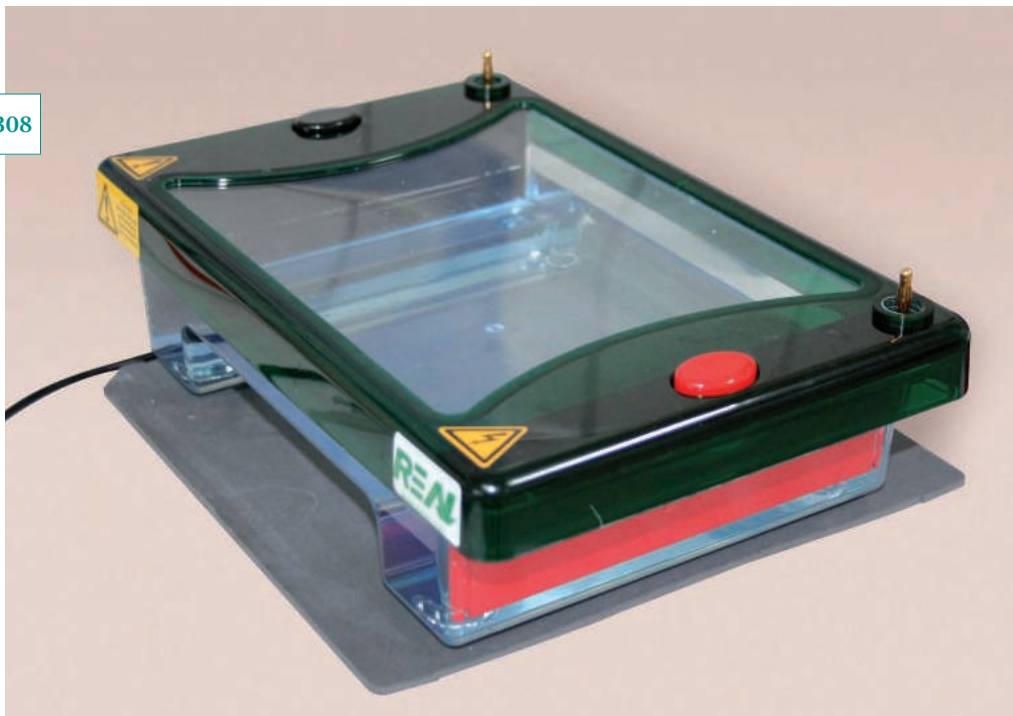


Figura 1. Cubeta de electroforesis para geles de agarosa

1. SELECCIÓN DE STR

Los sistemas o marcadores genéticos empleados en la mayoría de los laboratorios son los consensuados a nivel internacional por diversos organismos con competencias en materia de genética forense, ya sean la AAFS (*American Academy of Forensic Sciences*) o la ISFG (*Internacional Society of Forensic Genetics*), siendo todos ellos organismos que se encargan de realizar y publicar recomendaciones en el ámbito forense. En este sentido, el CODIS (*Combined DNA Index System*) desarrollado por el FBI a finales de los 90, incluye 13 sistemas de STR tetraméricos, que son los que se emplean en la mayoría de los laboratorios forenses, aunque a ese conjunto se puede añadir algún marcador más. Todos estos sistemas se suelen amplificar mediante kits comerciales (*Promega*, *Applied Biosystems*) en una sola reacción de PCR o *multiplex*.

2. PODER DE IDENTIFICACIÓN DE LOS STR

Los perfiles genéticos obtenidos mediante el análisis simultáneo de un número significativo (10-17) de regiones STR en los cromosomas autosómicos ofrecen un elevado poder de discriminación individual, alcanzándose índices de identificación en los que la frecuencia de aparición por azar del perfil en la población es tan baja (por encima de 1 en un billón) que hace teóricamente imposible (en una población real de 6.000 millones) la existencia de un segundo individuo no relacionado genéticamente con el mismo perfil de ADN (Alonso, 2004).

Aparte de otras características que ya se han mencionado, existe otro hecho que explica en gran medida su gran poder de identificación, y es que en los 22 cromosomas autosómicos, es fácil encontrar regiones con nulo desequilibrio de ligamiento.

Este fenómeno implica un patrón de herencia independiente, favoreciendo así la obtención de altos índices de identificación.

Por otro lado, como también se mencionó anteriormente, el uso de los STR hace sencilla la creación de bases de datos estandarizados, que representan una herramienta esencial para una correcta valoración estadística de los procesos de identificación o de cálculo de probabilidades de paternidad.

3. RELACIONES DE PARENTESCO

Los estudios biológicos de paternidad o maternidad se resuelven en la mayoría de los casos empleando STR autosómicos debido a que presentan copia doble y muestran una herencia mendeliana simple. Esto implica que para cada marcador, cada individuo posee dos alelos, uno que ha recibido de su madre y otro de su padre. En una prueba de paternidad, por ejemplo, se dará por seguro en principio el vínculo materno filial. De esta forma, al descartar los alelos que ha transmitido la madre al hijo se pueden conocer los alelos que ha recibido de su padre. Comparando estos alelos de herencia paterna con los del presunto

padre, se obtendrán dos posibles resultados. Uno de ellos es la aparición de inconsistencias, es decir, la ausencia de alelos del presunto padre en el hijo. En este caso se daría la paternidad por excluida. En el caso de que no haya ninguna inconsistencia, se calcularía la probabilidad de paternidad. Actualmente, gracias a los STR autosómicos, se dan valores altísimos (como por ejemplo, 99,999999998%) de probabilidad de paternidad, reduciendo al mínimo la incertidumbre de una posible coincidencia al azar.

Las altas tasas de mutación (en relación a las de otros marcadores) se deben tener en cuenta a la hora de estudiar relaciones de parentesco, ya que se podría observar la aparición de inconsistencias en individuos que realmente están relacionados biológicamente. Por tanto, se hace necesario el estudio de estas tasas de mutación para una correcta estima de la probabilidad de ocurrencia de estos eventos, debido a que puede resultar determinante a la hora de dar una paternidad por excluida o no.

4. DESVENTAJAS

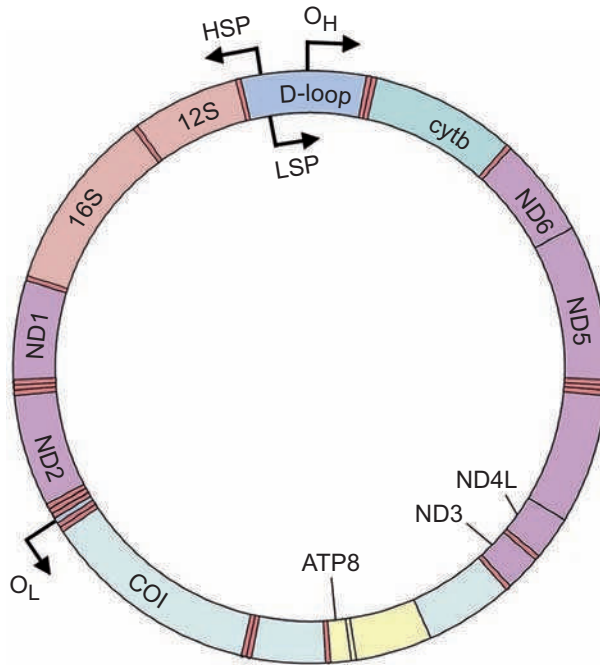
La cantidad de ADN nuclear, en el que están contenidos estos marcadores, es pequeño si se compara con el del ADN mitocondrial. En las llamadas muestras críticas, aquellas que presentan muy mal estado de conservación o se encuentran muy degradadas, es muchas veces complicado reproducir un perfil completo de ADN. Cuando el ADN está muy degradado sufre daños moleculares y normalmente se encuentra muy fragmentado. Los problemas que resultan de esa degradación son numerosos: perfiles incompletos, *allelic dropout* (pérdida aleatoria de alelos o amplificación preferencial de uno de los dos alelos y, en consecuencia, detección parcial) y otros problemas que hacen cuestionar la fiabilidad de los resultados. El problema es que para tipar estos marcadores es necesario amplificar fragmentos de una determinada longitud y eso es complicado cuando las cadenas no están completas. Este problema ha sido abordado por algunas casas comerciales, simplemente reduciendo el tamaño de los fragmentos de amplificación o amplicones. Como ejemplo, la empresa *Applied Biosystems* ha diseñado un kit comercial denominado *miniFiler*, orientado sobre todo para el análisis de muestras degradadas o críticas.

Lo más frecuente en muestras degradadas es emplear, bien ADN mitocondrial (que no es muy resolutivo), bien el estudio de mutaciones puntuales en ADN nuclear, los denominados SNP.

ADN MITOCONDRIAL

El ADN mitocondrial humano es una molécula circular formada por 2 cadenas, con una longitud de 16.569 pares de bases (Figura 2). Codifica un total de 37 genes: 13 subunidades del sistema de fosforilación oxidativa, 2 RNA ribosomales (rRNA) y 22 RNA transferentes (tRNA). Las 2 cadenas del ADN mitocondrial

tienen una distribución asimétrica de guaninas y citosina, lo que genera una cadena pesada (H o *Heavy*, con alto contenido en G) y una ligera (L o *Light*, con bajo contenido en G). En la cadena pesada son codificados 28 genes mientras que en la cadena ligera se transcriben 8 tRNA y subunidades del sistema de fosforilación oxidativa (Butler, 2005).



O_H y O_L : orígenes de replicación de las cadenas H y L respectivamente.
 LSP: promotor de la cadena L.
 HSP: promotor de la cadena H.

Figura 2. Organización genómica del mtDNA humano

Esta doble cadena presenta una región denominada región control (*Control Region* o *D-loop*), con un tamaño de 1.122 pares de bases, que contiene, entre otros, el origen de replicación de la cadena pesada (O_L) y los promotores de las dos hebras (PL y PH). Ya que no codifica para ningún gen también se conoce como región no codificante. La región control es de gran interés en el campo de la identificación, ya que en esta zona se concentran tres regiones de gran variabilidad poblacional: las tres regiones hipervariables denominadas HVSI, HVSII y HVSIII. La enorme variación en estas regiones se debe a varios factores (Aquadro *et al.* 1983; Cann *et al.* 1987). El ADN mitocondrial es más sensible al daño oxidativo causado por los radicales libres, debido a su ubicación y a la ausencia de proteínas histonas, que protegen al ADN nuclear. Además la enzima ADN polimerasa mitocondrial posee una pobre actividad correctora, si se

compara con la polimerasa del ADN nuclear. Todos estos factores provocan que el ADN mitocondrial tenga una tasa de mutación o de evolución de 5-10 veces más rápida que el ADN nuclear (Cann *et al.*, 1987).

Además de la variabilidad interpoblacional presente en la región control, el ADN mitocondrial resulta de interés en el campo de la identificación por su elevada concentración en la célula y por sus mecanismos de herencia. El número de moléculas de ADN mitocondrial dentro de cada célula varía entre 1-15 por cada mitocondria (Satoh y Kuroiwa, 1991). Dado que en cada célula hay cientos de mitocondrias (Robin y Wong, 1988), hay miles de moléculas de ADN mitocondrial en cada célula. Por otra parte, el ADN mitocondrial presenta una herencia exclusivamente materna. Los oocitos contienen alrededor de 100.000 mitocondrias mientras que los espermatozoides contienen sólo entre 50-75 mitocondrias (Jobling *et al.*, 2004). Durante la fecundación es posible que las mitocondrias procedentes del espermatozoide penetren en el óvulo. Sin embargo, diferentes estudios indican que la contribución mitocondrial paterna es prácticamente nula (Giles *et al.*, 1980; Jazin *et al.*, 1998; Howell *et al.*, 2003), con lo que debe existir algún mecanismo que elimina las mitocondrias paternas en el cigoto (Manfredi *et al.*, 1997; Shitara *et al.*, 1998; Sutovsky *et al.*, 1999).

La tasa de mutación del ADN mitocondrial es muy superior a la de los genes nucleares, alrededor de $0,017 \times 10^{-6}$ sustituciones por sitio por año en cada genoma mitocondrial completo excluyendo la región control (Ingman *et al.*, 2000). La tasa de mutación en la región hipervariable es más elevada, aunque existe controversia en relación a su valor. La tasa de mutación estimada basada en comparaciones filogenéticas es aproximadamente $0,075-0,165 \times 10^{-6}$ sustituciones por sitio por año (Hasegawa *et al.*, 1993; Stoneking *et al.*, 1992; Tamura y Nei, 1993; Ward *et al.*, 1991), mientras que tasas obtenidas a partir estudios familiares varían entre $0-1,46 \times 10^{-6}$ sustituciones por sitio por año (Howell *et al.*, 2003).

Una posible causa de las diferencias entre estas tasas puede encontrarse en que dentro de la región control la tasa de mutación es muy heterogénea. Existen posiciones con tasas de mutación cuatro o cinco veces más rápidas que la media, denominados puntos calientes (*mutational hot spots*) (Excoffier *et al.*, 1999; Hasegawa *et al.*, 1993; Heyer *et al.*, 2001; Meyer *et al.*, 1999; Wakeley, 1993).

1. HETEROPLASMIA

Se define como heteroplasmia la presencia de más de un tipo de ADN mitocondrial en un individuo. Puede haber más de un tipo mitocondrial dentro de la mitocondria, dentro de la célula, en diferentes células o tejidos del mismo individuo. Las heteroplasmas pueden ser de secuencia o de longitud.

Las heteroplasmas de longitud suelen aparecer en los tractos de policitosis presentes tanto en HVI como en HVII (Stewart *et al.*, 2001). Así, un mismo individuo puede presentar diferentes moléculas de ADN mitocondrial, que se diferenciarán en el número de citosinas.

Es posible detectar las heteroplasmas mediante el análisis de los electroferogramas obtenidos mediante la secuenciación. Si se observan dos picos que se solapan en una determinada posición, esto indica la presencia de dos tipos de ADN mitocondrial, que difieren a nivel de dicha posición.

Además la heteroplasma se puede presentar de diferentes modos: individuos con heteroplasma en un tejido, individuos que presentan un tipo de ADN mitocondrial en un tejido y otro tipo en otro tejido, y/o individuos que presentan heteroplasma en un tejido y en otro homoplasma (Carracedo *et al.*, 2000). Se ha estimado que sobre el 14% de la población tiene un segundo tipo de ADN mitocondrial que presenta una frecuencia de al menos 1% (Tully *et al.*, 2000).

2. POLIMORFISMOS EN EL ADN MITOCONDRIAL

El ADN mitocondrial fue secuenciado por primera vez en 1981 en Cambridge (Anderson *et al.*, 1981). Esta primera secuencia ha sido denominada como *Cambridge Reference Sequence* (CRS) o secuencia de referencia de Anderson. Desde entonces, se emplea como secuencia consenso con la que se compara el resto de secuencias, considerando como mutaciones o variantes las diferencias respecto a ésta. En 1999 la muestra empleada por Anderson y colaboradores fue resecuenciada obteniendo 11 diferencias respecto a la original, aunque ninguna en HVI o en HVII, y siendo nombrada esta nueva secuencia como *revised Cambridge Reference Sequence* (rCRS).

La mayor variabilidad genética entre individuos en las poblaciones humanas se encuentra en la región control. Normalmente se analizan las regiones HVI e HVII cuando se quiere obtener un perfil genético. En la mayoría de los casos, se determina la secuencia entre la posición del nucleótido 16.024 hasta 16.365 en HVI y entre la posición 73 y 340 en HVII. Más recientemente, se ha comenzado a analizar HVIII, secuenciando el fragmento entre las posiciones 438 y 574. En la actualidad, hay laboratorios donde se analiza toda la región control, bien simplemente secuenciando o bien empleando también SNP. Al igual que en el cromosoma Y, el conjunto de variantes que encontramos en el ADN mitocondrial se denomina haplotipo y los haplogrupos serían conjuntos de haplotipos que comparten ciertas sustituciones y por tanto presentan un origen común.

CROMOSOMA Y

El cromosoma Y es un cromosoma acrocéntrico (es decir, que no es simétrico respecto del centrómero), pequeño, con sólo 60 Mb (Skaletsky *et al.*, 2003). En él se pueden distinguir fundamentalmente 2 tipos de regiones: región no recombinante y región pseudoautosómica (Figura 3). La región no recombinante (*Non-recombining region o nonrecombining portion of the Y*, NRPY o NRY) ocupa el 95% del cromosoma Y (8 Mb en el brazo corto y 14,5 Mb en el brazo largo). La denominación de esta región deriva de la falta de recombinación con su ho-

mólogo, el cromosoma X, durante la meiosis. Dentro de esta región se distingue un mosaico de secuencias heterocromáticas y eucromáticas. La eucromatina se refiere a la parte del genoma, en este caso del cromosoma Y, que se encuentra no condensada durante la interfase y que es activa desde el punto de vista de la transcripción. Se distinguen tres clases de secuencias eucromáticas: transposón del cromosoma X (*X-transposed region*), segmentos degenerados del cromosoma X (*X-degenerate regions*) y amplicones (*ampliconic regions*) (Skaletsky *et al.*, 2003). La zona eucromática que consta de 23 Mb codifica para 27 proteínas diferentes con una media de 1,2 genes por Mb (Skaletsky *et al.*, 2003; Jobling *et al.*, 2004), lo cual resulta escaso si es comparado con los 717 genes en 160 Mb del cromosoma X (4,5 genes/Mb) (Jobling *et al.*, 2004).

La zona heterocromática suele ser variable en longitud, aunque típicamente contiene unas 30 Mb (Jobling *et al.*, 2004). Esta región se localiza fundamentalmente en el brazo largo del cromosoma Y, aunque también presenta un bloque en el centrómero de aproximadamente 1 Mb (HGSC, 2001; Venter *et al.*, 2001; Skaletsky *et al.*, 2003) y un pequeño bloque de 400 Kb, que interrumpe la región eucromática.

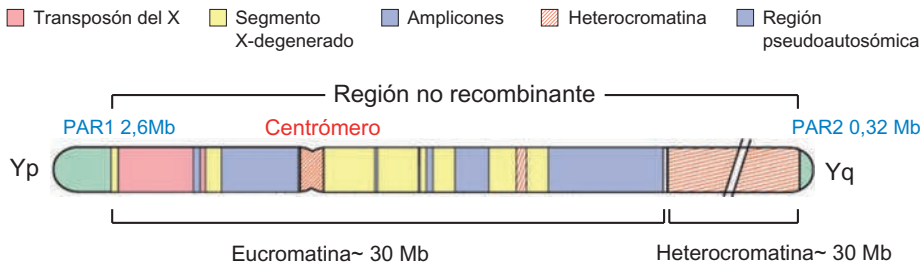


Figura 3. Estructura del cromosoma Y (Repping *et al.*, 2006)

Según algunos investigadores, como Skaletsky, el nombre correcto para esta región sería *male-specific region* (MSY) ya que es una región específica de los varones y presenta recombinación.

Flanqueando la región no recombinante se localizan dos regiones pseudoautosómicas: PAR 1 y PAR 2, que pueden recombinar con el cromosoma X.

- La PAR 1 (región pseudoautosómica 1) con 2,6 Mb, se encuentra en el extremo del brazo corto de los cromosomas X e Y, y es una región de obligada recombinación durante la meiosis masculina (Jobling *et al.*, 2004).
- La PAR 2 (región pseudoautosómica 2) con 0,32 Mb, que se encuentra en el extremo del brazo largo de los cromosomas X e Y, sería una adquisición evolutivamente más reciente, específica de humanos, y con poca importancia en la segregación cromosómica (Jobling *et al.*, 2004).

En contraste con su escasa dotación de genes, el cromosoma Y es rico en diferentes tipos de repeticiones, como los SINE retrovirus endógenos y duplicaciones. Esto provoca una mayor susceptibilidad a reordenamientos por recombinación

entre homólogos no alélicos con resultado de inusuales altos niveles de polimorfismos estructurales entre humanos (Jobling *et al.*, 2004). El cromosoma Y se caracteriza por presentar una gran proporción de duplicaciones de segmentos (Skaletsky *et al.*, 2003), variaciones en la longitud de los segmentos de eucromatina y heterocromatina (Bobrow *et al.*, 1971; Verma *et al.*, 1978), inversiones (Verma *et al.*, 1982; Bernstein *et al.*, 1986) y translocaciones neutrales con cromosomas autosómicos (Schmid *et al.*, 1984), deleciones (Jobling *et al.*, 2007), etc.

La elección de los polimorfismos del cromosoma Y presentes en la NRY para el análisis de la estructura genética de las poblaciones humanas, se basa fundamentalmente en las siguientes tres propiedades: está presente exclusivamente en varones, se encuentra localizado en un cromosoma que no tiene homólogo y no presenta recombinación (Jobling *et al.*, 1995). Estas propiedades tienen como consecuencia que el cromosoma Y se herede de padres a hijos varones sin cambios, excepto por las mutaciones que gradualmente se van acumulando y que permiten estudiar la historia genética de las poblaciones o de los individuos.

Desde el descubrimiento del primer polimorfismo de ADN en el cromosoma Y en 1985 (Casanova *et al.*, 1985; Lucotte *et al.*, 1985), el número y tipo de marcadores se ha incrementado exponencialmente. Los tipos de polimorfismos que con más frecuencia se han utilizado son: sustituciones de una base, duplicaciones o deleciones, inserciones, organizaciones complejas y VNTR (*Variable Number of Tandem Repeats*).

Dentro de este grupo de polimorfismos los más analizados en la actualidad son los microsatélites y los polimorfismos basados en el cambio de una base.

1. MICROSATÉLITES DEL CROMOSOMA Y

El número de microsatélites identificados en el cromosoma Y se incrementa cada año. Sólo en el año 2004, el equipo de Kayser presentó 166 nuevos Y-STR. Sin embargo, ya en el año 1997, la comunidad forense europea, con el propósito de estandarizar el uso de Y-STR en su campo, seleccionó 8 *loci* que constituirían el denominado haplotipo mínimo, entendiendo por haplotipo una combinación de alelos de diferentes *loci*. Así el haplotipo mínimo está constituido por los sistemas DYS19, DYS389I, DYS389II, DYS390, DYS391, DYS392, DYS393 y DYS385 (de Knijff *et al.*, 1997; Kayser *et al.*, 1997; Roewer *et al.*, 2001). La mayoría de estudios en genética de poblaciones humana, genética forense, bases de datos y kits comerciales incluyen los sistemas correspondientes al haplotipo mínimo y, de esta manera, es posible comparar datos obtenidos por diferentes laboratorios. Distintas casas comerciales han desarrollado sistemas de *multiplex* en los que se incluyen también otros sistemas como DYS438 y DYS439. En este segundo caso se habla de haplotipo extendido.

En el año 2006, Hanson y Ballantyne, a partir de los datos existentes sobre Y-STR en *Human Genome Database* (www.gdb.org), indicaron que existen 389 Y-STR potencialmente utilizables en el campo forense, y por tanto también útiles para aquellas áreas interesadas en la identificación personal y/o poblacional.

Las tasas de mutación para microsatélites han sido estimadas examinando descendientes de genealogías que están separados por muchas generaciones (Heyer *et al.*, 1997), utilizando líneas celulares (Bianchi *et al.*, 1998), análisis directo de mutaciones en padres e hijos con confirmada paternidad (probabilidad B 99,9%) (Kayser *et al.*, 2000; Dupuy *et al.*, 2001, 2004; Kurihara *et al.*, 2004; Ballard *et al.*, 2005; Gusmão *et al.*, 2005) y análisis en esperma (Holtkemper *et al.*, 2001). También se han llevado a cabo estimaciones de las tasas de mutación a partir del número de mutaciones en las ramas de un *network* de haplotipos de una población (Forster *et al.*, 2000) o dentro de haplogrupos definidos por SNP (Zhivotovsky *et al.*, 2004). De todos estos trabajos, tanto en autosómicos como en cromosoma Y, se deduce una serie de propiedades del proceso de mutación (Jobling *et al.*, 2004), como por ejemplo, que la mayoría de mutaciones implican el incremento o la pérdida de una unidad de repetición (Weber y Wong, 1993; Di Rienzo *et al.*, 1994; Zhivotovsky y Feldman, 1995; Amos *et al.*, 1996; Brinkmann *et al.*, 1998; Xu *et al.*, 2000; Kayser *et al.*, 2000; Holtkemper *et al.*, 2001; Dupuy *et al.*, 2004). En general, la tasa de mutación se incrementa en relación a la longitud del bloque de repetición. Los bloques de unidades de repetición más largos tienden a contraerse, mientras que los bloques de unidades de repetición más cortos tienden a expandirse. Se ha observado que a partir de cierto número de repeticiones la tasa de contracción mutacional se incrementa (Xu *et al.*, 2000).

El proceso de mutación parece ser variable según el *locus* y tipo de repetición (Ellegren, 2004), existiendo tasas de mutación alélica específica (Kayser *et al.*, 2001b; Dupuy *et al.*, 2004).

2. MARCADORES BIALÉLICOS DEL CROMOSOMA Y

Hasta 1997 había sólo 11 marcadores bialélicos descritos en el cromosoma Y, todos ellos tipados por métodos basados en la PCR (Hammer, 1994; Seielstad *et al.*, 1994; Hammer, 1995; Whitfield *et al.*, 1995; Santos *et al.*, 1995; Jobling *et al.*, 1996; Underhill *et al.*, 1996). Estos incluían SNP, una delección y una inserción. En 1997, Underhill *et al.* publicaron la identificación de 19 nuevos polimorfismos bialélicos basados en la PCR que habían sido identificados mediante la aplicación de la técnica de DHPLC (*Denaturing High Performance Liquid Chromatography*, cromatografía líquida de alta resolución en condiciones desnaturalizantes) (Underhill *et al.*, 1997). De esta manera, se abrieron las puertas a la identificación y tipaje de cientos de nuevos SNP, inserciones y delecciones (Underhill *et al.*, 2000; Shen *et al.*, 2000; Underhill *et al.*, 2001; Hammer *et al.*, 2001; *Y-chromosome Consortium*, 2002).

Fundamentalmente se han descrito dos procesos que generan los marcadores bialélicos: una errónea incorporación de nucleótidos durante la replicación y fenómenos de mutagénesis. Sin embargo, para que un cambio en la secuencia pase a la siguiente generación debe eludir los mecanismos de reparación del ADN (Jobling *et al.*, 2004).

Las tasas de mutación de los marcadores bialélicos de cromosoma Y son mucho más bajas que las de los STR (10^{-8} frente a 10^{-3} mutación por generación) (de Knijff, 2000; Kayser *et al.*, 2000, 2001a). Existen evidencias de recurrencia, como en SRY-1532 (Hammer *et al.*, 1998), pero son poco frecuentes.

Respecto a la identificación de SNP, se ha observado que la densidad de SNP estimada es especialmente elevada en regiones duplicadas (0,69-1,33 por Kb) (Jobling *et al.*, 2004), indicando la posibilidad de que algunos de esos SNP fueran en realidad PSV (*Paralogous Sequence Variants*), es decir, substituciones en secuencias parálogas, que son secuencias muy similares, no alélicas, generadas por duplicación (Bailey *et al.*, 2002). En el caso concreto del cromosoma Y, la frecuencia de parálogos supera la media genómica, siendo entre un 30-45% (Skaletsky *et al.*, 2003). Además, una importante propiedad de las secuencias parálogas es su propensión a la conversión génica –transferencia no recíproca desde una copia paróloga a otra (Rozen *et al.*, 2003; Bosch *et al.*, 2003)–, pudiendo resultar una mayor diversidad en las secuencias de las regiones duplicadas que en las no duplicadas (Jobling *et al.*, 2004).

En el campo de la identificación personal, los SNP del cromosoma Y son de gran interés debido al carácter de marcador de linajes del cromosoma Y y a su baja tasa de mutación. Gracias al estudio de dichos marcadores, es posible definir el haplogrupo de un individuo y su correspondiente origen étnico. Así la información conjunta de microsatélites permite no sólo llevar a cabo identificaciones, sino según el haplogrupo, poder asignarle un origen geográfico.

CROMOSOMA X

Los STR del cromosoma X están siendo cada vez más empleados en el ámbito de la genética forense. Estos marcadores han revelado ser muy útiles en los estudios de filiación, especialmente en las investigaciones complejas de paternidad. Estos casos suelen ser aquellos en los que falta alguno de los progenitores, en los cuales se debe completar la información que falta a partir de la aportada por otros familiares. También son casos complejos de paternidad aquellos en los que se sospecha que los posibles padres puedan estar relacionados biológicamente.

Al igual que en los marcadores STR autosómicos, son los organismos internacionales que poseen competencias en genética forense los que establecen recomendaciones a la hora de elegir cuáles son los marcadores más apropiados. Por ejemplo, el GEP-ISFG en su grupo de trabajo del cromosoma X, lleva a cabo análisis sobre la utilidad forense de algunos X-STR (Gusmão *et al.*, 2008). A día de hoy, está realizando un estudio de parejas padres-hijos, del mismo modo que se hizo con el cromosoma Y, para estimar la tasa de mutación de los marcadores que con más frecuencia se usan en el cromosoma X.

Consideraciones acerca de la utilidad forense del cromosoma X

Los estudios de desequilibrio de ligamiento son especialmente importantes en el cromosoma X, ya que es posible que algunos marcadores estén ligados en la herencia. El carácter «semiautosómico» del cromosoma X (las mujeres poseen dos cromosomas X homólogos y los varones sólo un cromosoma X) hace que estos marcadores muestren un comportamiento intermedio entre los cromosomas autosómicos, en los que existe recombinación, y el cromosoma Y, que se hereda en bloque. En este sentido, se pone de manifiesto que algunos marcadores del cromosoma X pueden presentar desequilibrio de ligamiento, haciendo que la mejor aproximación forense a la hora de estudiarlos sea analizar como haplotipos (ver el apartado precedente sobre el cromosoma Y) aquellos que estén ligados.

A la hora de utilizar las bases de datos (ver el apartado siguiente), también hay que tener en cuenta ciertas particularidades del cromosoma X. Se ha visto que los alelos en los sistemas autosómicos muestran frecuencias similares en distintas poblaciones. En cambio el cromosoma Y, debido a su pequeño tamaño efectivo, está más sujeto a procesos como la deriva génica y eso hace que se diferencie mucho de unas poblaciones a otras. Pues bien, en este aspecto, el cromosoma X vuelve a tener un comportamiento intermedio ya que tiene un tamaño efectivo superior al del cromosoma Y pero inferior al de los autosómicos, lo que hace que sea especialmente importante la población que se elija de referencia.

ESTADÍSTICA Y BASES DE DATOS

318

La interpretación y valoración de las evidencias que aportan las pruebas de ADN han experimentado una gran evolución durante los últimos años. Ahora mismo, lejos de tomar los análisis genéticos como verdades absolutas, las personas encargadas de administrar justicia se han percatado de que en toda valoración siempre hay un grado de incertidumbre que hay que tener presente. Esta incertidumbre se valora estadísticamente con el fin de alcanzar la máxima objetividad en las conclusiones que obtenemos a partir de las evidencias (Carracedo, 2004).

1. ESTADÍSTICA

Los ratios de verosimilitud o *Likelihood Ratio* (LR) son la herramienta estadística más común para valorar la prueba de ADN de una forma objetiva. Si se hiciera una pequeña reflexión, se podría decir que el concepto de probabilidad hace referencia a la posibilidad que tiene un suceso de ocurrir en un futuro, mientras que, por la contra, los ratios de verosimilitud valoran cuál es la explicación más probable ante un suceso que ya se ha producido (Jobling *et al.*, 2004). De esta forma, un *Likelihood Ratio* se define como el cociente entre las probabilidades de un mismo evento bajo dos hipótesis distintas. Un ejemplo sería el siguiente: se encuentra una evidencia biológica de la que se obtiene un

perfil genético. Este perfil es comparado con el de un sospechoso y se constata que es el mismo. En este caso el ratio se calcula como el cociente entre la probabilidad de que los perfiles coincidan, suponiendo que el sospechoso es el que donó esa evidencia (hipótesis 1), y la probabilidad de que se dé esa coincidencia al azar, ya que ese perfil pertenece a otro individuo no relacionado con el caso (hipótesis 2). Se entiende fácilmente que en este caso, la probabilidad del numerador es 1, mientras que la del denominador es la probabilidad de encontrar ese perfil en la población, o dicho de otro modo, la frecuencia de ese perfil en la población (Carralero *et al.*, 2006). Si después de hacer el cálculo se obtiene un valor de 1.000, se podrá decir que es 1.000 veces más probable que se haya dado esa coincidencia de perfiles debido a que el sospechoso es el donante de la evidencia a que la coincidencia se haya producido por azar.

En el estudio biológico de la paternidad se sigue el mismo procedimiento estadístico, de hecho, los índices de paternidad o IP no son más que ratios de verosimilitud en los que, en el caso de que no haya inconsistencias entre el hijo y el presunto padre (ver apartado sobre los STR autosómicos en el capítulo anterior), se comparan las probabilidades de este suceso bajo dos hipótesis distintas. En este caso las hipótesis son: hipótesis 1: el presunto padre es el padre biológico del hijo; hipótesis 2: el padre es cualquier individuo tomado al azar de la población.

Es necesario recalcar, para evitar caer en errores de interpretación o falacias, que en ningún momento se calcula el cociente entre las probabilidades de dos hipótesis. Hacer esto llevaría a una mala interpretación de las pruebas. Por ejemplo, sería incorrecto decir, en una prueba de paternidad en la que hemos obtenido 10.000 de IP, que es 10.000 veces más probable que el presunto padre sea el padre biológico a que no lo sea. Esto es incorrecto porque se está realizando el cociente entre las dos hipótesis. Hay que recordar que lo que verdaderamente se calcula es el cociente entre la probabilidad de un mismo evento (que en el caso de una paternidad sería el hecho de que el presunto padre comparta alelos con el hijo) bajo hipótesis distintas (Buckelton *et al.*, 2005).

2. BASES DE DATOS

Como se ha visto, el ratio de verosimilitud es el estadístico más empleado para valorar objetivamente la prueba de ADN. En el ejemplo que se puso al comienzo de este epígrafe, a la hora de calcular el valor del LR, en el denominador se estima la probabilidad de encontrar un perfil en la población, o lo que es lo mismo, la frecuencia de ese perfil en la población. Sin embargo, para realizar un correcto cálculo de esa probabilidad, y por tanto del LR, se deberá disponer de una base de datos en la que se describan las frecuencias de los alelos de los marcadores empleados. Huelga decir que estas bases de datos deben intentar reflejar de la forma más fiel posible la verdadera constitución genética de la población de la que se extraen. Por tanto, deberán contener un número suficiente de individuos, tener en cuenta una posible estratificación de la población (existencia de diferentes etnias) y otras consideraciones forenses.

Ejemplos de bases de datos

Existen tanto organismos públicos como privados que crean bases de datos para uso forense, y que suelen estar a disposición pública. También los propios laboratorios pueden crear sus propias bases de datos. Éstas se pueden clasificar según el tipo de marcador empleado para conformarlas. Existen numerosas bases de datos empleadas a nivel mundial. Por ejemplo, para ADN mitocondrial están: EMPOP, *MitoMap* y *mtDNA Population Database*. Para STR autosómicos tenemos: *Promega* o *Applied Biosystems*, como puede verse, ambas de casas comerciales. En los Estados Unidos está la *NIST Standard Reference Database*, que pertenece al gobierno. Como bases de datos de cromosoma Y, la más importante actualmente a nivel internacional es la del Hospital de La Charité, denominada *Y-Chromosome Haplotype Referente Database* o YHRD (www.yhrd.org), Berlín, Alemania. Esta base de datos contiene actualmente 54.863 tipajes de 477 poblaciones de todo el mundo. También las casas comerciales *Reliagene*, *Promega* y *Applied Biosystems* poseen sus propias bases de datos para cromosoma Y.

GENÉTICA FORENSE NO HUMANA

Los más recientes avances en el campo de la genética forense han extendido notablemente los límites de ésta. En concreto, en la actualidad, la genética forense incluye otras especies diferentes a la humana que pueden tener algún interés médico legal en el diagnóstico de la muerte, en la investigación criminal o en la propia identificación personal. Por ejemplo, la variabilidad genética de microorganismos ha ayudado a obtener información forense que no podría haberse obtenido de otro modo. Ello se debe al hecho, demostrado por algunos autores (Green *et al.*, 2004; Horner-Devine *et al.*, 2004), de que los microorganismos no se distribuyen al azar en el territorio. De este modo se abre la posibilidad de utilizar, bien la composición microbiana del suelo, bien los microorganismos encontrados en un sospechoso, como modo de vincular a una determinada persona con un escenario. Independientemente de que el microorganismo en cuestión pueda ser o no cultivado *in vitro*, la secuenciación de regiones del ADN ribosómico (16S rADN) o el análisis de secuencias intercaladas entre los genes que codifican para ARN ribosómico, pueden establecer la relación de uno o varios microorganismos con una determinada localidad geográfica. Horsewell *et al.* (2002) han demostrado que la composición genética de los microorganismos encontrados en el suelo tiene una utilidad forense real.

En casos más concretos, las mordeduras producidas durante una lucha pueden ocasionar serios procesos infecciosos. Agresiones en el rostro mediante los puños, especialmente en la boca, suelen ser propensas a infectarse mediante bacterias que resultan de gran utilidad a la hora de determinar la persona que infligió el mordisco. Especialmente los estreptococos presentes de modo natural en la boca son muy variables genéticamente y su perfil genético puede ser identificativo de un individuo.

Trabajos de Borgula *et al.* (2003) y de Rahimi *et al.* (2005), en los que se solicitó de manera controlada a personas que se mordieran a sí mismos, después de lo cual, y durante varios períodos de tiempo, se recogieron bacterias del lugar de la mordedura, demostraron que los perfiles genéticos bacterianos recogidos del mordisco poseían un poder individualizador respecto de la persona responsable de la mordedura.

Otros autores, como Kobayashi *et al.* (1993), han demostrado el poder identificativo de cepas de virus de Epstein-Barr (EBV). Este virus infecta con mucha frecuencia, a veces de manera subclínica, a los humanos de bajo estatus socioeconómico y es muy polimórfico en secuencias cortas repetidas en tándem (STR). Al llegar a la edad adulta, el 90% de las personas muestran evidencia serológica de haber sido infectados con EBV, que se contagia por vía de los aerosoles salivares y puede ser asintomático o también puede producir enfermedades bastante serias como el linfoma de Burkitt o la mononucleosis.

Otros virus muestran así mismo un notable poder identificativo. Ikegaya e Iwase (2004) han demostrado que en Japón se puede rastrear el origen de cadáveres no identificados mediante el genotipado de virus JC, un poliomavirus que infecta a casi todos los humanos durante la infancia y que es principalmente asintomático con la excepción de personas inmunodeprimidas. El genotipado de JCV resulta de utilidad incluso en la identificación de cadáveres de hasta 10 días.

La utilidad del genotipado de especies vegetales también puede tener interés forense por la misma razón que en el caso de los microorganismos. Así, la extracción de ADN de semillas puede vincular a un cadáver o a un sospechoso a un determinado escenario.

El caso de los invertebrados presenta unas características similares a virus, bacterias y especies vegetales. Sin embargo, muchos invertebrados presentan la particularidad de crecer alimentándose de cadáveres y de otros restos orgánicos. Es posible, por tanto, extraer ADN de un gusano o de un escarabajo y determinar de qué se ha estado alimentando. Esto puede ser de utilidad en los casos en los que haya insectos pero no cadáver, en los casos en los que todo parezca indicar que los insectos han llegado hasta el cuerpo a partir de otro lugar o bien en los que los insectos simplemente hayan sido cambiados de lugar (DiZinno *et al.*, 2002; Linville y Wells, 2002; Linville *et al.*, 2004; Zehner *et al.*, 2004; Campobasso *et al.*, 2005).

Los piojos y las pulgas frecuentemente saltan de sus huéspedes animales o humanos a otros humanos, de manera que puede relacionarse una persona con otra mediante el genotipado de la sangre que almacena la pulga o el piojo en su organismo (Lord *et al.*, 1998). En este contexto, el genotipado de la sangre de ladillas (*Phthirus pubis*) puede ser de utilidad en casos de delitos contra la libertad sexual, en los que hay intercambio de estos parásitos entre el agresor y la víctima.

13

TANATOLOGÍA

José Antonio Sánchez Sánchez

*Director de la Escuela de Medicina Legal y Forense.
Universidad Complutense de Madrid*

María del Mar Robledo Acinas

*Directora del Laboratorio de Antropología Forense y Criminalística.
Escuela de Medicina Legal y Forense. Universidad Complutense de Madrid*





324

Figura 1. *Momia andina. Museo de Antropología Médica y Forense, Paleopatología y Criminalística Profesor Reverte Coma*

CONCEPTO DE TANATOLOGÍA

Según el *Diccionario Terminológico de Ciencias Médicas*, la tanatología sería la suma de conocimientos relativos a la muerte, especialmente desde el punto de vista médico-legal.

Para Veloso de França (2001), tanatología médico-legal es la parte de la medicina legal que estudia la muerte y sus repercusiones en la esfera jurídico-social.

Queda claro, tanto en ésta como en otras definiciones, que la tanatología se ocupa de la repercusión que tiene la muerte en la esfera jurídica, y que entra de lleno en el ámbito de las Ciencias Forenses, y más en concreto de la medicina legal y forense.

La tanatología forense se va a ocupar acerca de temas que incluyen:

1. Diagnóstico de la muerte cierta
2. Data de la muerte
3. Identificación del cadáver
4. Causa de la muerte
5. Mecanismo de la muerte
6. Indicios de criminalidad
7. Rapidez de la muerte
8. Existencia de otros elementos ajenos al cadáver

CRITERIOS MÉDICO-LEGALES. CONCEPTO DE MUERTE

1. CONCEPTO MÉDICO

No se puede definir puntualmente. Desde un punto de vista científico no existe el instante de la muerte, aunque se identifique con el cese de los latidos cardiacos o de los movimientos respiratorios. Existen procesos muy rápidos de destrucción traumática del sistema nervioso central, en los que el momento del fallecimiento es fácilmente precisable. Comprendería una serie de fases, que desde el punto de vista médico-legal se conceptúan como fases de la muerte:

1. Muerte aparente. Existe una abolición aparente de las funciones vitales.
2. Muerte relativa. Existe una suspensión efectiva y duradera de las funciones nerviosas, respiratorias y circulatorias, siendo posible mediante maniobras terapéuticas la recuperación en algunos casos.
3. Muerte intermedia. Es una extinción progresiva de las actividades biológicas, sin que sea posible de ninguna forma recuperar la vida del organismo de forma unitaria.
4. Muerte absoluta. Esta fase corresponde a la desaparición de toda actividad biológica referida al organismo primitivo.

2. CONCEPTO JURÍDICO

Comprende aquellas fases en las que la muerte es irreversible, no siendo posible la reviviscencia del individuo con maniobras terapéuticas extraordinarias. Se correspondería con la muerte intermedia.

El concepto jurídico de muerte va a tener gran importancia para la realización de trasplantes de órganos.

2.1 Exigencias del Registro Civil en torno a la inscripción del fallecido

El Registro Civil va a tener una serie de exigencias en torno a la inscripción del fallecido, recogidas en los artículos 85-87 de la Ley de 8 de junio de 1957, sobre el Registro Civil.

Artículo 85.

Será necesaria certificación médica de la existencia de señales inequívocas de muerte para proceder a la inscripción de la defunción [...].

Es decir, el médico debe establecer si existen esas señales de muerte para que pueda inscribirse el cadáver como tal.

Artículo 86.

Será necesaria sentencia judicial firme, expediente gubernativo u orden de la autoridad judicial que instruya las diligencias por muerte violenta, que afirmen sin duda alguna el fallecimiento, para inscribir éste cuando el cadáver hubiera desaparecido o se hubiera inhumado antes de la inscripción.

Este artículo previene la desaparición del cadáver, como ocurre en naufragios o en inhumaciones ilegales.

Artículo 87.

En tiempo de epidemia, si existe temor fundado de contagio o cuando concurren otras circunstancias extraordinarias, se tendrán en cuenta las excepciones a los preceptos anteriores, prescritas por las leyes y reglamentos de sanidad o lo que ordene la Dirección General de los Registros y Notariado.

Además, el artículo 274 del Decreto de 14 de noviembre de 1958, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley de Registro civil, señala que «el facultativo que haya asistido al difunto en su última enfermedad o cualquier otro que reconozca el cadáver, enviará inmediatamente al Registro parte de la defunción [...]». Es decir, que cualquier médico puede firmar el certificado de defunción para su inscripción en el Registro Civil, con la única condición de que se trate de una muerte natural y que el médico conozca el diagnóstico. En caso de muerte violenta o sospechosa de criminalidad, o si no se conoce el diagnóstico, se debe comunicar al juzgado de guardia y será el médico-forense el encargado de realizar el diagnóstico a través de la autopsia judicial.

2.2 Legislación tanatológica. Reglamentos de la policía sanitaria mortuoria

En el momento actual la legislación tanatológica incluida dentro de las competencias de las distintas comunidades autónomas que tienen transferidas las competencias de sanidad e higiene han procedido a promulgar sus distintos reglamentos de policía sanitaria mortuoria. Estos reglamentos en líneas generales siguen las orientaciones establecidas en el Reglamento de Policía Sanitaria Mortuoria, aprobado por Real Decreto 2263/74, de 20 de julio, que era de ámbito nacional.

Las materias, definiciones, clasificación de los cadáveres, traslados y operaciones tanatopráxicas recogidas en los diferentes reglamentos de policía sanitaria mortuoria se pueden consultar en las siguientes direcciones:

- a) Reglamento de Policía Sanitaria Mortuoria de 1974: www.coam.org/pls/portal/docs/PAGE/COAM/COAM_AYUDA_PROFESIONAL/PDF/20-07-1974.pdf (consultado: 20/5/2009)
- b) Reglamento de la Policía Sanitaria Mortuoria de la Comunidad de Madrid: www.ucm.es/info/medlegal/departamento/documentos/polmortuoria.pdf (consultado: 20/5/2009)

FENÓMENOS CADAVERÍCOS Y SU EVOLUCIÓN

para el médico legista, señala Simonin (1982), el cadáver es el testimonio mudo de un hecho judicial o banal. Este presenta en el cuerpo o en las vísceras vestigios reveladores que permiten «hacerle hablar». En general el médico legista en sus investigaciones tanatológicas es menos profundo pero más extenso que el anatomopatólogo. Estudia las afecciones de origen traumático, enfermedades mentales criminógenas, envenenamientos, etc. y se interesa por las lesiones orgánicas correspondientes. En el campo de la anatomía patológica su estudio es más reducido porque su intervención tardía no le permite trabajos histológicos precisos comprometidos frecuentemente por la putrefacción.

Por el contrario las investigaciones médico-legales comprenden estudios importantes sobre fenómenos cadavéricos, levantamiento del cadáver, identificación, asfixia, supervivencia, muerte súbita, etc., que exigen técnicas particulares de orden anatómico, químico y microbiano que determinan los fenómenos cadavéricos.

En este capítulo nos vamos a centrar en el estudio de los fenómenos cadavéricos, nombre con el que se designan los cambios que se suceden en el cuerpo sin vida a partir del momento en que se extinguen los procesos bioquímicos vitales, al verse éste sometido a la acción de diversas influencias.

Desde el punto de vista de su esqueletización se divide en los siguientes apartados:

1. Fenómenos cadavéricos abióticos: deshidratación, lividez, hipóstasis y enfriamiento.
2. Fenómenos cadavéricos bióticos: rigidez y espasmo.
3. Fenómenos destructores: autólisis y putrefacción.

La importancia médico-legal de los fenómenos cadavéricos está en relación con su naturaleza secuencial, que se puede usar para establecer la data de la muerte y debemos conocerlos también para discernir los cambios debidos a fenómenos tafonómicos que pueden simular lesiones premortem y también modificar los hallazgos toxicológicos.

Uno de los problemas que afecta de forma generalizada a los resultados en la evolución de los fenómenos cadavéricos son las variaciones que se pueden producir en el medio y los factores individuales que pueden modificar la magnitud de los cambios que se producen en el periodo postmortal.

Por ejemplo, los cambios físico-químicos que se producen después de la muerte dependen de las condiciones ambientales (temperatura, ventilación, humedad...) y del estado metabólico en el que se encontraba el individuo antes de la muerte y sus características (peso corporal, ejercicio que había realizado, estado de salud, etc.).

1. FENÓMENOS CADAVERICOS ABIÓTICOS

Constituyen el conjunto de modificaciones que se producen en el cadáver como consecuencia de la acción que sobre éste ejercen las condiciones ambientales.

1.1 *Enfriamiento cadavérico*

El cese de los fenómenos exotérmicos característico de los animales homeotermos va a dar lugar a una caída progresiva de la temperatura hasta igualarse a la temperatura medioambiental.

Este enfriamiento puede presentarse de maneras diferentes en su comienzo y evolución que pasamos a comentar.

En primer lugar existe un periodo de equilibrio térmico en el que se mantiene la temperatura que tenía el cadáver en el momento de la muerte. Este fenómeno lo explica Sellar como algo físico. El cadáver sería como un cilindro que empieza a perder temperatura en las capas más externas, que es compensado por las capas subyacentes de forma inmediata, repitiéndose el proceso hacia la profundidad de forma sucesiva. El eje del cadáver o cilindro no es alcanzado por la onda de enfriamiento hasta unas 2 horas de establecida la muerte. Esta meseta térmica estará en relación al radio del cadáver. Transcurrido este periodo de tiempo, tiene una evolución regular.

En ocasiones puede ocurrir una situación contraria a la explicada, la subida de la temperatura postmortem es la llamada hipertermia postmortem. Esta situación de hipertermia puede darse en casos de insolación, trastornos neurológicos y muertes por convulsión como en el caso de tétanos o intoxicación por estricnina, etc. En todo caso no se mantiene más allá de las 2 horas después de la muerte.

Spitz (1992) indica que el equilibrio térmico que se produce inmediatamente después de la muerte se debe al calor que generan los procesos metabólicos residuales de los tejidos muertos y por la actividad metabólica de las bacterias intestinales.

El enfriamiento se inicia por los pies, manos y cara, que están fríos 2 horas después de la muerte, se extiende después a las extremidades, pe-

cho, dorso, enfriándose finalmente el vientre, axilas y cuello. Los órganos abdominales profundos conservan el calor durante mucho tiempo, incluso 24 horas. Esta evolución del enfriamiento puede verse condicionada por diversos factores:

1. Causa de la muerte: las enfermedades crónicas y hemorragias dan lugar a un rápido enfriamiento. Lo mismo ocurre en las muertes por intoxicación por fósforo, arsénico y alcohol, las muertes por frío y las grandes quemaduras. En cambio la temperatura se mantiene más tiempo en las muertes por insolación, golpe de calor, sofocación o intoxicaciones por venenos convulsivantes.
2. Características individuales: edad, estatura, estado de nutrición, peso, etc. En este caso el factor fundamental es la circunferencia del cadáver.
3. Factores ambientales: la influencia que el medioambiente va a ejercer en la marcha del enfriamiento está en íntima dependencia con el mecanismo físico de la pérdida de calor corporal con sus 4 componentes:
 - a) Irradiación: transferencia de calor de un objeto a otro por cercanía, por rayos infrarrojos.
 - b) Conducción: transferencia de calor de un objeto a otro por contacto.
 - c) Evaporación: pérdida de temperatura por evaporación del agua situada en el plano más externo.
 - d) Convección: transferencia de calor a través del movimiento de corrientes de aire sobre el cadáver.

Es decir, se enfriará tanto más rápidamente cuanto menor sea la temperatura ambiental y mayor la humedad, ventilación, etc.

4. Finalmente, hemos de señalar que el enfriamiento también se modifica por otros factores como son:
 - a) El ofrecido por las diferentes conductividades de los tejidos corporales.
 - b) El del aire atrapado debajo de las ropas; existe una fina capa de aire inmediatamente por encima de la piel que no está a temperatura ambiente, sino a la del cuerpo.
 - c) El de las propias ropas.
 - d) El que ofrece otra delgada lámina de aire, situada por encima de las ropas, que sin estar a temperatura ambiente, tampoco es idéntica a la del cuerpo.
 - e) Los debidos al ambiente específico.

El cálculo de la temperatura del cadáver se debe realizar en zonas u órganos internos, ya que en la piel la temperatura desciende muy rápidamente al estar en contacto con el aire. De los órganos internos, se ha probado para determinar la temperatura en multitud de ellos, siendo el más comúnmente usado la temperatura rectal y la temperatura a nivel hepático, aunque algunos autores mantienen que

la temperatura en cerebro descende de una forma más regular y, por tanto, sería el mejor indicador del tiempo que ha transcurrido desde la muerte. El método a seguir para el cálculo de la edad por la pérdida de temperatura interna del cadáver en relación a la temperatura ambiental, se expone al final del capítulo.

Puede ocurrir que la temperatura externa sea mayor que la temperatura interna del cadáver en el momento de la muerte. En este caso la temperatura del cadáver aumentará. De cualquier forma si encontramos una temperatura superior a los 36,5-37 °C (temperatura que se considera normal en el sujeto vivo) en el cadáver, no podemos asumir directamente que se haya producido por una temperatura externa elevada, ya que algunos tipos de muerte, como sepsis, hipertiroidismo, ejercicio físico, golpe de calor, convulsiones o muerte por drogas (como cocaína, anfetamina, anticolinérgicos, fenilciclidina, etc.) pueden elevar la temperatura en el momento de la muerte.

También debemos tener en cuenta el caso contrario, es decir, que en el momento de la muerte la temperatura del cadáver no sea la señalada de 36,5-37 °C, sino que sea inferior, como ocurre en algunos tipos de muerte, como las causadas por *shock* o por exposición a drogas (alcohol, hipnóticos, sedantes, opiáceos, fenotiacidas, etc.).

1.2 Deshidratación cadavérica

Dependiendo de las condiciones ambientales externas, se produce una deshidratación cadavérica que será tanto más intensa cuanto más alta sea la temperatura y la ventilación. Este proceso puede traducirse en fenómenos generales como pérdida de peso, y locales como apergaminamiento cutáneo, desecación de los músculos y fenómenos oculares, siendo éstos los más llamativos y evidentes. Estos fenómenos son:

1. Pérdida de transparencia de la córnea, dependiendo de si el cadáver se encuentra con los ojos abiertos o cerrados: suele ser evidente a las 4 horas en el primer caso y a las 24 en el segundo.
2. Mancha esclerótica de Sonner-Lacher: se inicia poco tiempo después de la muerte en forma de una simple mancha negra de contorno mal limitado, que va extendiéndose después hasta adquirir una forma redondeada u oval. Aparece primero en el lado externo del globo ocular, surgiendo después otra del mismo color en el lado interno, con la que puede llegar a unirse. Esta mancha no es constante.
3. Hundimiento del globo ocular a consecuencia de la evaporación de los líquidos oculares: está condicionada su aparición cronológica a que el cadáver haya permanecido con los ojos cerrados o abiertos.
4. Algunos autores señalan que la ausencia completa de fluido intraocular sugiere un tiempo de muerte de al menos 4 días. En estos casos, a pesar de no existir fluidos en el globo ocular, si es necesario determinar análisis, se pueden rellenar con agua o con una solución salina y remitirlos para análisis toxicológico.

1.3 *Livideces cadavéricas e hipóstasis viscerales*

Se producen en el momento que la sangre queda sometida a la ley de la gravedad. Las livideces son manchas de color rojo violáceo que aparecen en la piel de la parte más declive del cadáver, mientras que las hipóstasis viscerales es el mismo fenómeno pero en el interior del cadáver, es decir, en los órganos, donde va a acumularse la sangre en su parte más baja.

La evolución de las livideces suele ser la siguiente (suponiendo que el cadáver se encuentra en decúbito supino):

- a) Región posterior del cuello: 20-45 minutos
- b) Comienzan a confluir: 1 hora y 45 minutos
- c) Resto del cadáver: 3-5 horas
- d) Ocupan todo el plano inferior: 10-12 horas

Hasta las 10-12 horas las livideces no se fijan, es decir, que si cambiamos la posición del cadáver ellas también cambiarán, pero si ha empezado a producirse el proceso de fijación, se volverán a instaurar nuevas livideces en el nuevo plano inferior pero sin desaparecer del plano primitivo. Es decir, nos encontraremos livideces en dos planos opuestos, aunque de intensidad más atenuada. Este fenómeno ocurre después de las 10-12 horas y antes de las 24 horas. En ocasiones podemos encontrar un tipo de livideces que se apartan de las características hasta ahora estudiadas. Estas son las llamadas púrpuras hipostáticas y las livideces paradójicas. La púrpura hipostática consiste en un punteado parecido a la escarlatina. Se produce según Hoffman porque la hipóstasis cadavérica puede romper los vasos, sobre todo si los capilares sufren degeneración grasa como en la intoxicación fosforada, alcohólica o la septicemia. Las livideces paradójicas son aquellas que se forman en regiones no declives. Se observan en cadáveres en decúbito supino en la cara y en las regiones anteriores del cuello y el tórax. Son más frecuentes en las muertes repentinas y en las asfícticas.

Esta marcha general de las livideces se puede ver alterada por diversos cuadros patológicos como en casos de anemia, o cuando se produce una pérdida de sangre cuantiosa, como ocurre en las roturas de la aorta, en los cuales las livideces prácticamente no se van a poder discernir. También en individuos con la piel negra las livideces van a ser difíciles de ver. En este caso la congestión de órganos internos (hipóstasis) nos puede ayudar.

La coloración de las livideces puede variar también dependiendo del mecanismo de la muerte (Tabla 1).

Las livideces color rosado se pueden ver en cadáveres recuperados del agua, o que han fallecido y tienen los vestidos mojados o húmedos durante largo tiempo. En algunos caso la existencia de equimosis y livideces a la vez puede confundirnos, por lo que en este caso se hace necesario incidir la piel. La lividez postmortal es totalmente intravascular y en un primer momento puede ser totalmente evacuada la sangre del lecho vascular. En los hematomas la sangre ocupa el tejido intersticial.

En el caso de excoriaciones las livideces no afectan a estas áreas, así una excoriación en un área donde exista una lividez es fácil de detectar. También la ausencia de sangre retrasa la descomposición del área con excoriación.

ETIOLOGÍA	COLOR	MECANISMO
Normal	Azul violáceo	Sangre venosa
Monóxido de carbono	Rosa, rojo cereza	Carboxihemoglobina
Cianhídrico	Rosa, rojo cereza	Sangre oxigenada debido a la inhibición de la citocromo oxidasa
Fluoroacetato	Rosa, rojo cereza	El mismo mecanismo anterior
Refrigeración/hipotermia	Rosa, rojo cereza	Retención del oxígeno en sangre a nivel de piel debido al aire frío
Clorato sódico	Marrón	Metahemoglobina
Sulfuro de hidrógeno	Verde	Sulfohemoglobina

Tabla 1. *Livideces postmortem. Coloración*

2. FENÓMENOS CADAVERICOS BIÓTICOS

Expresan los cambios de naturaleza físico-química que tienen lugar una vez producido el fallecimiento.

2.1 Rigidez cadavérica

Inmediatamente después de la muerte se produce un estado de relajación y flacidez de los músculos del cuerpo. Pero al cabo de cierto tiempo se inicia un lento proceso de contractura muscular que se denomina rigidez cadavérica.

La rigidez es un proceso físico-químico que sigue a la muerte. Después de la muerte los músculos continúan su actividad metabólica glucolítica por un tiempo corto. En este proceso el ATP se hidroliza a ADP y se produce ácido láctico, cayendo el pH celular. La falta de regeneración del ATP después de la muerte y la acidificación del medio hacen que se cierren puentes químicos entre las dos principales proteínas musculares, actina y miosina. Esta interconexión hace que se produzca la rigidez sin acortamiento muscular. En la contracción fisiológica, por el contrario, las moléculas de actina se desplazan sobre las de miosina y el músculo se contrae. Los experimentos animales indican que, además de descender los niveles postmortem de ATP, se requiere una cierta concentración de ion calcio libre para el desarrollo de la rigidez, y que se puede inhibir por quelantes del calcio. Con la descomposición de las proteínas se rompen los puentes que existían entre la actina y la miosina y por tanto desaparece también la rigidez muscular.

La rigidez evoluciona en el siguiente orden: 1. músculos de fibra lisa, 2. miocardio y diafragma y 3. músculos esqueléticos.

- a) En corazón y diafragma se inicia de media a 2 horas después de la muerte.

- b) Musculatura estriada a 3-6 horas después de la muerte, afectando progresivamente: músculos de la mandíbula, orbiculares de los párpados, cara, cuello, tórax, brazos, tronco y piernas. Sin embargo este orden puede invertirse en cadáveres en posición declive.

La rigidez es completa a las 8-12 horas, alcanza su máxima intensidad a las 24 horas e inicia su desaparición a las 36-48 horas. La rigidez muscular afecta a todos los músculos de igual forma, pero debido al menor volumen de los músculos pequeños (maseteros o músculos de las manos), éstos terminan por estar totalmente rígidos en un tiempo menor que los músculos que tienen un volumen grande.

Dependiendo de la fase en que se encuentre la rigidez podremos vencerla o no. En la primera fase (antes de las 24 horas) puede vencerse aplicando cierta fuerza y recuperando los miembros su flacidez para después de un tiempo volver a ponerse rígidos.

En la segunda fase (periodo de estado) la rigidez es prácticamente invencible, sin producir desgarros o fracturas.

Por último, en la tercera fase correspondiente a la resolución de la rigidez (a partir de las 36 horas), si se vence la resistencia muscular ya no vuelve a instaurarse de nuevo la rigidez.

La rigidez cadavérica puede modificarse y Nysten estableció la siguiente regla: cuando la rigidez se establece precozmente (P), la intensidad es ligera (L) y la duración corta (C). Cuando la intensidad se establece tardíamente (T), la intensidad es fuerte (F) y duradera (D).

Se sigue esta ley en los siguientes casos:

- Niños y viejos (P, L, C)
- Sujetos con buen desarrollo muscular (T, F, D)
- Sujetos con desarrollo muscular débil (P, L, C)
- Cansancio (P, L, C)
- Muertes que agotan el sistema muscular (P, L, C)
- Hemorragias (P, L, C)
- Muertes violentas y repentinas (T, F, D)

Hemos de tener en cuenta también que en algunos casos no se cumple esta ley, como ocurre en los procesos convulsivantes, algunas intoxicaciones, electrocución, muerte por frío, etc., por lo que hay que ser cauto cuando estudiemos este fenómeno cadavérico.

La rigidez, como hemos comentado, afecta a todos los músculos incluyendo los involuntarios, efecto que debemos tener en cuenta ya que puede inducirnos a error de interpretación, por las alteraciones que se pueden producir. Así, cuando afecta al iris podemos observar unas pupilas muy dilatadas, simulando una midriasis premortem. Los músculos erectores del pelo, cuando se afectan, hacen que la piel se muestre como un «cutis anserina» y creerse erróneamente que el cadáver haya estado en un medio acuso.

También este fenómeno puede hacer aparentar que el pelo ha crecido, ya que aparenta ser más largo al estar en erección.

Otra manifestación de la rigidez postmortal es el hallazgo de semen en el pene, debido a que afecta a la pared de las vesículas seminales que funcionan como un reservorio de semen. El corazón también puede simular hipertrofia y cuando se vence ésta, dilatación cardíaca. También es interesante anotar que pacientes intervenidos de cirugía cardíaca pueden desarrollar una isquemia y contracción irreversible del corazón que se asemeja al rigor, y que se ha descrito gráficamente como «corazón de piedra».

2.2 Espasmo cadavérico

Constituye un tipo especial de rigidez cadavérica que se manifiesta de forma instantánea y precede a la instauración de la rigidez ordinaria. El espasmo puede ser generalizado o localizado, que afecta sólo a grupos musculares aislados.

Las causas más frecuentes de espasmo cadavérico son:

1. Emoción extraordinaria o tensión nerviosa en el momento en que sorprende la muerte.
2. Muerte por procesos convulsivantes.
3. Heridas por armas de fuego que produzcan la muerte repentinamente por lesión de centros nerviosos superiores o corazón (más raramente).
4. Muerte por lesiones espontáneas del sistema nervioso central.
5. Fulguración por electricidad atmosférica.
6. Asfixias mecánicas y sumersión.

3. FENÓMENOS DESTRUCTORES: AUTOLISIS

Se denomina autolisis al conjunto de procesos fermentativos anaeróbicos que tienen lugar en el interior de las células por la acción de las propias enzimas celulares sin intervención bacteriana. Es el más precoz de los fenómenos autolíticos sucedidos posteriormente por la putrefacción. A menudo los fenómenos autolíticos y putrefactivos se superponen en su evolución.

Desde un punto de vista estructural, la autolisis es una necrosis celular, muy semejante a lo que ocurre en el vivo cuando el órgano sufre alteraciones isquémicas.

Estas alteraciones se traducen en alteraciones en tejidos y órganos que son de importancia en el estudio y diagnóstico en patología forense. Las principales alteraciones son:

1. Sangre. En la sangre se puede observar que los glóbulos rojos evolucionan del siguiente modo:
 - 4 horas: aparecen inflamados

- 12-14 horas: presentan puntas afiladas en su superficie
- 2-3 días: vuelven a ser redondeados y esféricos
- 4 días: irregularidades en forma de valles y erupciones
- 6-8 días: aparecen agrupados

Desde un primer momento la membrana del hematíe se hace permeable, lo que va a permitir la salida de elementos intraeritrocitarios, siendo perceptible esta hemólisis desde las primeras horas que siguen a la muerte, y por una serie de artefactos en todas aquellas técnicas analíticas que parten del suero o que utilizan técnicas colorimétricas, lo que deberá ser tenido en cuenta a la hora de su valoración.

2. Bilis. Llama la atención los fenómenos de imbibición biliar que se traducen en una coloración amarillenta o verdosa de los órganos adyacentes.
3. Páncreas. Es el órgano que antes sufre las alteraciones autolíticas, que en ocasiones se han confundido con necrosis del páncreas.
4. Suprarrenales. La autólisis es precoz iniciándose en la porción medular.
5. Timo. El timo en recién nacidos degenera con cierta rapidez. Se plantea el diagnóstico diferencial entre reblandecimiento postmortal o quiste, siendo fácil ya que en el primero no se presenta capa celular delimitante.
6. Esófago y estómago. Los fermentos digestivos mantienen su actividad postmortem durante las 6-7 horas inmediatas. Como consecuencia de esta persistencia, la mucosa gástrica llega a ser afectada por el jugo gástrico. Esto da como consecuencia un reblandecimiento que da una coloración gris sucia del fondo del estómago. En circunstancias excepcionales puede llegar a una perforación de la pared del estómago.
7. Encéfalo. El sistema nervioso central se afecta muy precozmente por la autólisis, siendo este fenómeno más agudo en recién nacidos y niños.
8. Otras estructuras. Las estructuras musculares tienden a resistir más los procesos autolíticos. Los riñones presentan variaciones en la evolución de este proceso, siendo precoz en el túbulo contorneado proximal y distal, y más tardía en el glomérulo y en el asa de Henle.

4. TANATOQUIMIA

La palabra tanatoquimia hace referencia al estudio de la bioquímica cadavérica y es importante en el estudio del cadáver ya que nos puede brindar información acerca de los parámetros con interés diagnóstico.

Entre los fluidos que se han usado para estas determinaciones están: sangre, líquido cefalorraquídeo, humor acuoso, humor vítreo, líquido sinovial, líquido pericárdico y líquido perilinfático. De todos ellos el humor vítreo es el que tiene más ventajas, dado que la cantidad total que se puede obtener es de 4-5 ml, suficiente para la mayoría de las investigaciones. A ello se une el no disponer

prácticamente de elementos celulares, por lo que se afecta poco por los procesos derivados de la autólisis y no está muy influido por los procesos agónicos postmortales.

FENÓMENOS PUTREFACTIVOS Y SU EVOLUCIÓN

La putrefacción es un proceso de fermentación pútrida de origen bacteriano. En la putrefacción intervienen gérmenes externos que penetran a través de la nariz, boca y órganos respiratorios, como internos, siendo los que desempeñan el papel fundamental los existentes en el tramo intestinal. Los primeros en actuar son los gérmenes aerobios que consumen grandes cantidades de oxígeno, y una vez agotado este continúan los anaerobios.

1. FASES DE LA PUTREFACCIÓN

La putrefacción evoluciona en 4 fases:

1. Periodo colorativo o cromático
2. Periodo enfisematoso o de desarrollo gaseoso
3. Periodo colicuativo o de licuefacción
4. Periodo de reducción esquelética

1.1 Periodo colorativo o cromático

El periodo colorativo o cromático se inicia con la mancha verde que se localiza normalmente en la fosa ilíaca derecha extendiéndose después a todo el cuerpo. Este periodo que se inicia 24-36 horas después de la muerte, dura varios días y durante ese tiempo se va transformando progresivamente hasta adquirir una coloración pardo negruzca.

No siempre la mancha verde comienza en la fosa ilíaca derecha, en ocasiones puede empezar en otros lugares, así en las muertes por sumersión empieza en pecho y cuello; cuando existen fenómenos congestivos cefálicos comienza en la cara; en fetos, en cuello, cara y parte superior del tórax; en traumatismos internos, en zonas cutáneas próximas a la lesión interna; en lesiones supurativas gangrenosas y neoplásicas aparece en los alrededores de las lesiones.

1.2 Periodo enfisematoso o de desarrollo gaseoso

El periodo enfisematoso se caracteriza por una gran producción de gases que invaden el tejido celular subcutáneo dándole al cadáver un aspecto abombado y desfigurado. Se observa en este periodo la red vascular superficial llena de sangre, consecuencia de la presión de los gases a nivel esplácnico. Dura de días hasta 2 semanas.

1.3 Periodo colicuativo o de licuefacción

En esta fase la epidermis se despegas de la dermis por reblandecimiento, los gases van escapándose del cuerpo que irá perdiendo el aspecto macrosómico que presentaba. Una autopsia realizada en este momento todavía puede darnos información sobre los órganos que permanecen individualizados. La fase colicuativa dura 8-10 meses.

1.4 Periodo de reducción esquelética

Paulatinamente, todas las partes blandas del cadáver irán desapareciendo a través de la licuefacción y transformación en putrúlagos. Los elementos más resistentes son el tejido fibroso, los ligamentos y los cartílagos, que es lo último que aparece adherido a los huesos. Este periodo suele durar unos 5 años.

Desde el punto de vista práctico se puede establecer el siguiente cuadro:

FASES DE LA PUTREFACCIÓN	DURACIÓN
1. Fase colorativa o cromática	días
2. Fase enfisematosa o de desarrollo gaseoso	semanas
3. Fase colicuativa o de licuefacción	meses
4. Fase de reducción esquelética	años

Tabla 2. Fases de la putrefacción

2. CONDICIONES QUE MODIFICAN LA EVOLUCIÓN DE LA PUTREFACCIÓN

Los cambios putrefactivos dependen sobre todo de la temperatura y de los factores ambientales, pero incluso individuos que fallecen en un mismo lugar pueden tener un grado diferente de descomposición dependiendo del grado de exposición al sol, si existe alguna fuente de calor cercana, etc. Individuos que fallecen de sepsis normalmente sufren una descomposición muy rápida. En algunos casos los gases producidos por una sepsis por *clostridium*, se puede ser testigo de la rapidez de la putrefacción en el hígado, que pasa de una aparente apariencia normal al principio de la autopsia a una masa blanda descompuesta en aproximadamente una hora. Los gases de la putrefacción incluyen metano, anhídrido carbónico, sulfuro de hidrógeno y mercaptanos. La fiebre antes de la muerte como ocurre en las sepsis, rabdomiólisis y sobredosis de cocaína aceleran la putrefacción. En estos casos podemos observar una putrefacción avanzada en menos de 12 horas. También evoluciona de forma rápida en individuos obesos y en zonas edematosas o exudativas. Por el contrario es más lenta en niños, sujetos delgados, cuando existe una pérdida importante de sangre o en sujetos deshidratados. La exposición al frío retarda igualmente la putrefacción.

Cuando un cadáver ha permanecido en un medio a temperaturas muy bajas y después se calienta, la putrefacción ocurre muy rápidamente. En los tejidos traumatizados igualmente se acelera la putrefacción (Tabla 3):

INDIVIDUALES:

Constitución física: los obesos se descomponen con mayor rapidez que los delgados

Edad: la putrefacción es más rápida en niños y más tardía en los viejos

PATOLÓGICAS:

La putrefacción es más precoz e intensa en:

1. Heridas graves
2. Contusiones extensas
3. Enfermedades sépticas
4. Muerte tras agonía lenta
5. Otras causas como asfixia, insolación, fulguración, etc.

La putrefacción se retrasa en:

1. Grandes hemorragias
2. Intoxicación por monóxido de carbono
3. Enfermedades que cursan con deshidratación intensa
4. Tratamiento con antibióticos
5. Miembros separados del cuerpo

AMBIENTALES:

Dependen de la humedad, el aire, el frío, la naturaleza del suelo, las corrientes de agua, etc. Según Casper, a igualdad de condiciones de temperatura y en un mismo lugar, 1 semana de putrefacción al aire equivale a 2 en agua y a 8 en tierra

Tabla 3. *Condiciones que modifican la putrefacción*

3. ALTERACIONES QUE PUEDEN PRODUCIR LA PUTREFACCIÓN

Los gases de la descomposición pueden causar alteraciones que nos hagan pensar en cuadros patológicos, así cuando afectan al cerebro pueden causar artefactos, que simulan vesículas blandas y que nos hagan pensar en encefalomalacia. Igualmente nos puede dificultar la diferenciación entre embolismo por embolia grasa o gaseosa, o pueden hacer que los pulmones del recién nacido floten, creándonos la impresión de que el recién nacido ha respirado antes de nacer. Otra alteración que se puede producir es la de los llamados «dientes rosa», producidos por la difusión de la hemoglobina dentro de los canilículos dentinarios, según Spitz se encuentra en el 20% de las autopsias. Otro cambio raro que se produce en la putrefacción es la presencia debajo del endocardio y de las cápsulas hepáticas y riñones y bazo, de un sembrado puntiforme de color gris blanquecino. Se distingue fácilmente de los granulomas, hongos o necrosis grasa y se debe presumiblemente a cambios autolíticos resultantes de la precipitación de calcio y otras sales.

FENÓMENOS CONSERVADORES DEL CADÁVER

1. FENÓMENOS NATURALES

Los fenómenos que conservan el cadáver pueden ser naturales o artificiales. En el primer grupo se encuentran la momificación, saponificación, corificación y congelación.

1.1 Momificación

La momificación consiste en la desecación del cadáver por evaporación del agua de sus tejidos, lo que da lugar a que éstos sufran una transformación especial por la que persisten las formas exteriores por tiempo prolongado. Desde el punto de vista del tiempo para que se produzca la momificación natural se estima entre 1-12, meses dependiendo de las condiciones ambientales y del volumen corporal.

Los caracteres generales que presentan las momias son:

- a) Gran pérdida de peso
- b) Gran consistencia de la piel
- c) Conservación de formas externas
- d) Gran duración

Condiciones para la momificación

La condición básica para la momificación es la pérdida de agua del organismo a la que se puede influenciar por determinadas condiciones que la favorecen:

- a) Condiciones ambientales:
 - 1. Arena caliente de los desiertos
 - 2. Subterráneos, criptas o grutas naturales
 - 3. Frío
 - 4. Terrenos ricos en sustancias higroscópicas (como nitratos y otras sales)
- b) Caracteres individuales. Se facilita la momificación en:
 - 1. Edad: niños recién nacidos
 - 2. Constitución: delgadez
 - 3. Causa de la muerte: grandes hemorragias, diarreas, tratamiento anti-biótico, etc.

1.2 Saponificación

Es un proceso transformativo del cadáver que consiste en un cambio químico de la grasa corporal que se convierte en un compuesto céreo similar a los

jabones. El resultado final es la formación de una coraza dura, granulosa, de color gris blanquecino, que se llamó adipocira. La saponificación puede afectar a todo el cadáver o a parte de él.

Comienza en las partes que tienen más panículo adiposo (mejillas y nalgas) y posteriormente puede extenderse al resto del panículo adiposo. Este proceso apenas afecta a órganos internos.

Según los autores clásicos el tiempo que se necesita para la formación de adipocira es de 3-12 meses, aunque se han observado periodos más cortos (hasta de 2 semanas).

Si el cadáver se ha saponificado en agua la adipocira es de color blanco, y si se produce en tierra de color amarillo.

Entre la adipocira reciente y antigua existen diferencias, siendo la primera untuosa al tacto, viscosa, se deja modelar, su corte es parecido al del queso y en su interior tiene porciones de tejidos extraños, como restos de tendones, músculos, ligamentos, etc. La adipocira antigua es dura, seca, quebradiza y presenta al corte una estructura homogénea.

La transformación de una a otra es lenta y gradual y no existen límites cronológicos.

Condiciones para la saponificación (indispensable medio húmedo)

a) Ambientales:

1. Cadáveres sumergidos en agua
2. Suelos arcillosos o húmedos
3. Cadáveres amontonados

b) Individuales:

1. Edad: más frecuente en niños pequeños
2. Sexo: más frecuente en mujeres
3. Obesidad: se produce más en sujetos obesos
4. Ciertas patologías: alcoholismo y otras intoxicaciones que originen degeneración grasa

1.3 Corificación

Este fenómeno se produce cuando el cadáver se encuentra dentro de una caja de cinc soldada. El nombre deriva del aspecto de estos cadáveres cuya piel se asemeja al cuero curtido. Este cuero presenta un tacto consistente, un color gris amarillento y una cierta flexibilidad y blandura. Los órganos están reducidos de volumen y conservan bastante bien su forma.

El tiempo necesario para que se produzca este fenómeno según Dalla Volta es entre 1-2 años, aunque en ocasiones ha podido observarse en un tiempo mucho menor, 2-3 meses.

2. FENÓMENOS ARTIFICIALES

El embalsamamiento es una técnica que se ha empleado desde la Antigüedad y por un gran número de civilizaciones: egipcios, judíos, incas y guanches son las civilizaciones más conocidas que han tenido gran práctica en estas técnicas.

En la actualidad el embalsamamiento se hace por razones piadosas, a petición de familiares y por imperativo legal.

Desde el punto de vista normativo encontramos los reglamentos de policía sanitaria mortuoria, la Orden del Ministerio de la Gobernación de 2 de diciembre de 1945, modificada el 17 de marzo de 1952, y la Circular de 25 de mayo de la Dirección General de Sanidad que especifican los materiales y líquidos conservadores que deben emplearse.

Existen dos técnicas para la conservación del cadáver: conservación transitoria y embalsamamiento.

2.1 *Método de conservación transitoria*

1. Mediante sustancias líquidas. Se inyectan con trocar grueso en cavidades (cráneo, tórax y abdomen) y masas musculares. La fórmula tipo es la siguiente:
 - 2 litros de formol al 50%
 - 5 litros de agua
2. Mediante sustancias secas. El cadáver se coloca sobre una capa de serrín mezclado con sulfato de cinc que se riega con una solución de formol. La fórmula tipo es:
 - 6 kg de sulfato de cinc
 - 9 kg de serrín de madera
 - 2 kg de una solución de formol al 40%

2.2 *Método de conservación definitiva. Embalsamamiento*

Básicamente consiste en una inyección intraarterial generalizada de un líquido fijador y conservador que drena la sangre venosa, complementada con el tratamiento simultáneo de grandes cavidades con el mismo líquido conservador.

Desde el punto de vista de soluciones conservantes autorizadas, las que figuran en la Orden Ministerial, de 2 de diciembre de 1945, son de 2 tipos:

1. 2 litros de formol solución comercial
 - 3 litros de alcohol etílico
 - 5 litros de agua destilada
2. 330 gramos de cloruro de cinc cristalizado
 - 5 litros de agua destilada

En la actualidad existen diferentes fórmulas, algunas de ellas patentadas que se emplean en el embalsamamiento.

2.3 Conservación con fines docentes

En las facultades de medicina se conservan cadáveres para la enseñanza por las cátedras de anatomía, las cuales reciben las donaciones en un documento firmado por el donante o sus derechohabientes con la asistencia de 2 testigos. Para su conservación se suele usar formol.

2.4 Refrigeración

Se usa en cadáveres que necesitan conservarse para autopsia, para identificación o bien por deseo de la familia. Este proceso se lleva a cabo en cámaras especiales que mantienen la temperatura entre 0-4 °C.

DETERMINACIÓN DEL MOMENTO Y FECHA DE LA MUERTE: INTERÉS JURÍDICO Y TÉCNICAS

La determinación del momento de la data de la muerte es un problema arduo de resolver en medicina forense, ello se debe a las variaciones que se pueden producir en el periodo postmortal como hemos podido observar en las páginas anteriores. Por lo que la forma de actuar debe ser estableciendo un primer rango de tiempo amplio, para después y si ello es posible, tratar de establecer un tiempo más reducido en el que calculamos que se ha podido producir la muerte. El interés en el establecimiento del momento de la muerte se produce básicamente en el ámbito de lo penal, pero a veces también es necesario realizar un peritaje para establecer la data de la muerte en un procedimiento civil.

Desde este último punto de vista, el diagnóstico relativo a la causa de la muerte interesa fundamentalmente en problemas de conmorienencia. El artículo 765 del Código Civil establece que el heredero voluntario que muere antes que el testador no transmite ningún derecho a sus propios herederos. En el artículo 33 de este mismo código se establece que «si se duda de dos o más personas llamadas a sucederse quien de ellas ha muerto primero el que sostenga la muerte anterior (premorienencia) debe probarlo. A falta de prueba se presumen muertos al mismo tiempo (conmorienencia) y no tiene lugar la transmisión de derechos de unos a otros».

1. METODOLOGÍA PARA EL CRONOTODIAGNÓSTICO

1.1 Signos paramédicos

Son aquellos no relacionados ni con la biología ni con la medicina que pueden suponer una ayuda en el establecimiento de la hora de la muerte. Por ejemplo, un cadáver que en el levantamiento está mojado y debajo de él seco, cuando ha estado lloviendo, nos lleva a deducir que el cadáver estaba allí antes de comenzar a llover, siendo por tanto ésa la data mínima.

1.2 Signos de vida residual

En el individuo que ha fallecido quedan signos de vida que se van extinguiendo progresivamente y que pueden ayudarnos a establecer la data. Los más estudiados son:

1. Motilidad de los espermios: hasta 34 horas después de la muerte
2. Reacción de la pupila a la atropina (4 horas) y a la pilocarpina (2 horas)
3. Contracción de los músculos postmortem con corriente continua de baja intensidad, siendo útil para ver la data hasta 8-10 horas después de la muerte

1.3 Signos derivados del cese de las funciones vitales

Hoy día son signos de valor discutible. Se han usado:

1. Estado de repleción de la vejiga
2. Longitud del pelo de la barba
3. Fase de digestión y evolución del tránsito

1.4 Signos de muerte molecular

Son los siguientes:

1. Fenómenos cadavéricos abióticos
 - a) Deshidratación.
 - Turbidez de la córnea (ojos abiertos): 4 horas
 - Turbidez de la córnea (ojos cerrados): 24 horas
 - Tensión ocular: cae de forma que no es posible medirla a las 2-3 horas
 - Mancha negra de Sommer-Lacher: con los ojos abiertos se observan a las 10-12 horas.
 - b) Livideces. Evolucionan de la siguiente forma:

Pequeñas manchas en la parte posterior del cuello	0-1 hora
Livideces abundantes en partes declives Palidez total al cambio de posición	1-5 horas
Desaparición a la presión Palidez de la antigua posición declive en 15 minutos Difusión de la hemoglobina y focos de hemolisis	5-8 horas
Palidez a la presión sin desaparición total No desaparición al cambio de postura Extravasación a la dermis Hemolisis intravascular (infiltración de hemoglobina al epitelio)	8-14 horas
No palidez a la presión No aparición de nuevas manchas en otra posición declive	+14 horas

Tabla 4. Evolución de las livideces

c) Enfriamiento. Evolucionan como sigue:

- Pies, manos y cara: perceptible al tacto 2 horas después de la muerte
- Partes cubiertas: se percibe al tacto 4-5 horas después de la muerte

La curva de enfriamiento mediante toma termométrica de temperatura rectal tendría 3 fases:

- a) Una meseta inicial en la que la temperatura rectal cae muy lentamente: 0,55 °C/h durante las 3 primeras horas.
- b) Caída rápida con una pérdida de calor producida como consecuencia del gradiente que se establece entre la piel fría y el interior aún caliente. La razón del enfriamiento es de 1 °C/h y dura hasta las 12 horas después de la muerte.
- c) Una fase de curva exponencial simple que duraría hasta el equilibrio térmico con el medioambiente. El gradiente sería: 0,75-0,66-0,50 etc.

Hennsge propone la utilización de un ábaco en el que se tiene en cuenta temperatura ambiental, temperatura rectal, peso, y un factor corrector en función de que el cadáver se encuentre desnudo o vestido, en agua o al aire libre y, en estos supuestos, en movimiento o parado. El nomograma y la explicación para su uso se exponen al final de esta lección.

2. Fenómenos bióticos

- a) Rigidez cadavérica. Ya estudiada, recordamos los plazos aproximados en los que se establece:
 - Corazón y diafragma: ½-2 horas
 - Musculatura estriada: 3-6 horas
 - Completa: 8-12 horas
 - Resolución: 36 horas
- b) Cambios físico-químicos. Se han estudiado multitud de ellos en todos los fluidos y órganos, siendo los más estudiados la sangre y el ojo. Ninguno de ellos ha resultado útil en el estudio de la data.
- c) Expresión bioquímica. Se han estudiado elementos bioquímicos que puedan ayudar a la data. Los más estudiados han sido fósforo y potasio, y el que mejores resultados parece tener es el potasio en humor vítreo.

2. DATA DE LA MUERTE EN EL CADÁVER ANTIGUO

Se basa en el estudio de los fenómenos putrefactivos que han sido expuestos en esta lección.

3. ENTOMOLOGÍA CADAVERICA

El estudio de los insectos devoradores del cadáver se puede usar para el establecimiento de la data. Se hace necesario el concurso de un especialista en entomología forense para poder obtener datos válidos. Los insectos además pueden aportar otros datos, como son los abusos o abandonos, datos toxicológicos o como fuentes de ADN humano.

4. NOMOGRAMA DE HENNSGE PARA CÁLCULO DE LA DATA

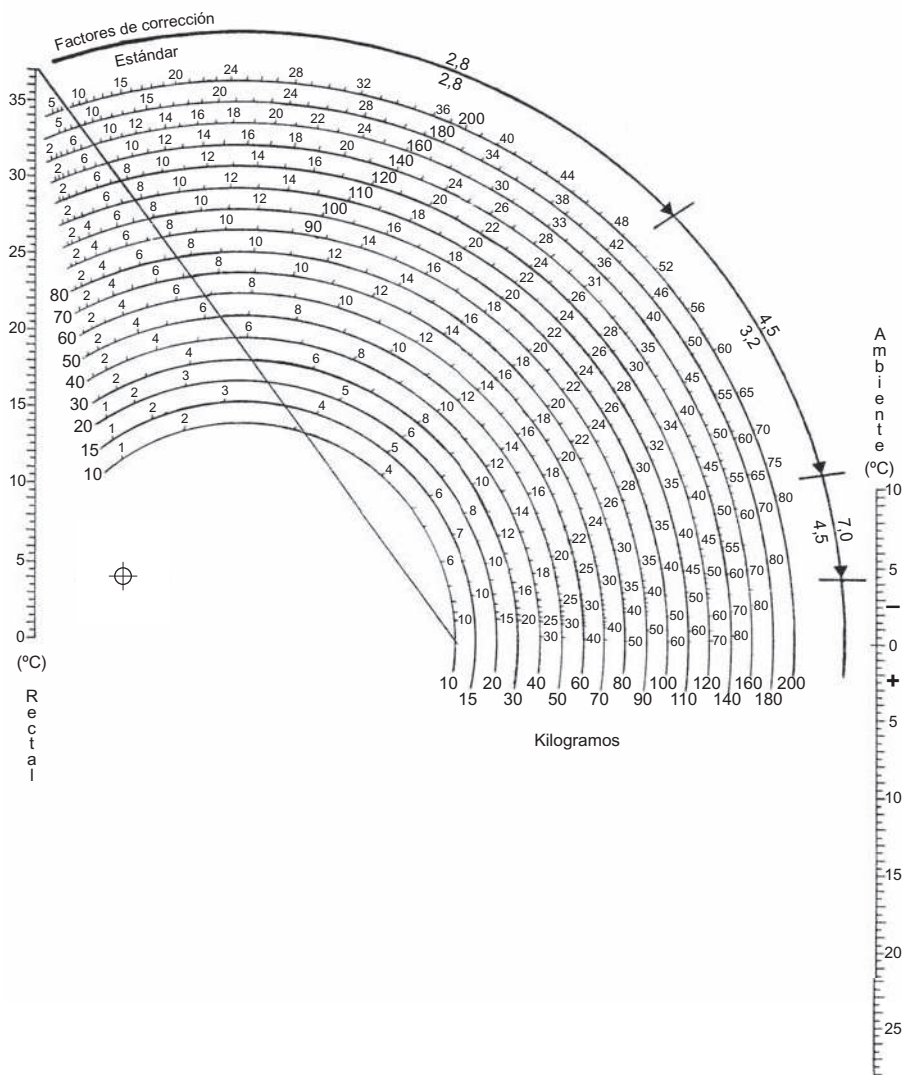


Figura 2. Nomograma de Hennsge

a) Lectura:

1. Trazar una línea entre la temperatura rectal y la ambiental, que cruzará la diagonal del nomograma.
2. Trazar una segunda línea que pase por el centro del círculo situado en el cuadrante inferior izquierdo del nomograma y por la intersección de la primera línea con la diagonal.

La segunda línea cruza los semicírculos correspondientes al peso corporal. En la intersección de esta línea con la correspondiente al peso se puede leer la data de la muerte.

La segunda línea cruza también con el semicírculo más externo, que ofrece un margen de horas a la data calculada, obteniéndose un valor con un margen de fiabilidad del 95%.

3. Se pueden aplicar factores empíricos de corrección para ajustar la temperatura ambiente y el peso corporal, aunque estos factores sólo pueden ser relevantes en el nomograma para temperaturas ambientales de hasta 23 °C. En estos casos se deben repetir las lecturas con otros valores corregidos del peso corporal, que se obtienen multiplicando el peso del individuo por el factor de corrección.

b) Ejemplo:

- Temperatura rectal: 26,4 °C
- Temperatura ambiente: 12 °C
- Peso: 90 kg

Resultado: tiempo aproximado de la muerte: $16 \pm 2,8$ horas.

El error se lee en la parte externa del círculo de la derecha indicado por una flecha; se delimitan 3 tramos y se tomarán 2 errores en función de que se trate de un cadáver desnudo o en condiciones estándar (cifra inferior) o usando el corrector de la tabla (cifra superior).

Conclusión: la muerte ocurrió entre 13,2-18,8 horas antes del momento de la medida de la temperatura, con una fiabilidad del 95%.

14

ESTUDIO MÉDICO-FORENSE DE LAS CONTUSIONES, CAÍDAS Y PRECIPITACIONES. LESIONES PRODUCIDAS POR ARMAS BLANCAS

José Antonio Sánchez Sánchez

*Director de la Escuela de Medicina Legal y Forense.
Universidad Complutense de Madrid*



INTRODUCCIÓN

La medicina legal en su sentido más amplio está llamada a conocer y estudiar las manifestaciones antisociales, de carácter biológico, provocadas por los instintos que agitan a los hombres. Los psicólogos encuentran, en la base de nuestros hechos y acciones, sea el instinto de nutrición, sea el instinto de conservación, sea el instinto de reproducción. Un obstáculo al instinto fundamental, por poco que dure, tiene una repercusión profunda sobre las funciones de la inteligencia, de la sensibilidad, de la voluntad. Entonces interviene la acción frenadora de la adaptación al medio social, el instinto de sociabilidad, ya que la deficiencia conduce a manifestaciones contrarias al orden social. Entre éstas se encuentran las violencias que ocasionan daños a la salud o a la vida del prójimo. La medicina legal traumatológica se propone estudiar sus diferentes aspectos.

(Simonin, 1982)

Uno de los signos más frecuentes en las lesiones son las contusiones o equimosis.

Conviene dedicar a las contusiones o equimosis un estudio especial, en razón de su frecuencia y de su importancia, pues ellas atestiguan generalmente que el sujeto estaba vivo en el momento de producirse, indican caída, pueden revelar la forma del instrumento responsable y servir para precisar la fecha de la violencia.

CONTUSIONES

Son lesiones producidas por la acción de cuerpos duros de superficie obtusa o roma, que actúan en el organismo por medio de una fuerza viva más o menos considerable.

Las contusiones se presentan bajo el aspecto de manchas del color de las heces, del vino o rojo oscuro, más o menos extensas, constituidas por sangre coagulada o extravasada que infiltra los tejidos.

Los instrumentos contundentes son muy abundantes y por tanto es difícil establecer una clasificación. Gisbert (2004) los clasifica como:

1. Instrumentos expresamente contruidos y empleados como agentes de contusión, para defensa y ataque.
2. Órganos naturales de defensa y ataque del hombre y los animales.
3. Objetos o instrumentos usados por el hombre con finalidades distintas y que ocasionalmente sirven como armas contundentes.

La fuerza del instrumento contundente puede ejercerse perpendicularmente en forma de presión o percusión, en sentido tangencial en forma de frotamiento o actuar los dos mecanismos conjuntamente. Finalmente, en algún caso se le puede unir un mecanismo de tracción dando lugar a violencias más complejas.

Las contusiones son lesiones muy frecuentes en la práctica médico-legal y por tanto su conocimiento es de gran interés por la información que nos puede proporcionar.

1. CLASIFICACIÓN DE LAS CONTUSIONES

Existen una gran variedad de clasificaciones de las contusiones, por lo que vamos a exponer los diferentes tipos de contusiones que se manejan en distintas clasificaciones y su definición.

1.1 Contusiones propiamente dichas o hematomas sin solución de continuidad

Pueden alcanzar diferentes grados y cuando es un primer grado suele llamársele equimosis. La contusión de segundo grado corresponde a una destrucción de tejido más intensa y la sangre puede coleccionarse en una bolsa (hematoma) formada en los extremos de las fibras lesionadas. En ocasiones el derrame formado no es hemático, hablándose entonces de los derrames serosos de Morrell-Lavallé, de importancia médico-forense porque aparecen especialmente en los casos de atropello. Fueron descritos por este autor en los traumatismos producidos tangencialmente, sobre regiones como la lumbar o la cara externa del muslo, en las que por debajo de la piel hay un plano aponeurótico resistente, lo que da lugar a la formación de una cavidad que se rellena de un líquido viscoso y turbio. En cuanto a su origen se establece que se debe a los restos de reabsorción de un hematoma o que se trate sencillamente de la extravasación del suero sanguíneo, siendo por tanto una linforragia.

1.2 Erosiones o contusiones con lesión epidérmica

Son las lesiones que afectan más superficialmente, sólo a la epidermis.

1.3 Heridas contusas

Producidas con objetos romos, con solución de continuidad dermo-epidérmica. Afectan a zonas extensas con mortificación y necrosis de los tejidos, de modo que aunque la piel en principio puede estar intacta, acaba necrosándose.

1.4 Petequias

Equimosis de pequeñas dimensiones, reunidas a menudo en conjuntos o agrupaciones, pueden denominarse también punteado hemorrágico.

1.5 Bolsa sanguínea

Es un hematoma de mayores dimensiones formando una acentuada prominencia en la piel.

2. FORMA, EVOLUCIÓN Y DURACIÓN DE LAS EQUIMOSIS

2.1 Forma

Igualmente es muy variable dependiendo del instrumento y del modo en el que haya sido manejado. Las más frecuentes son:

1. Redondas.
2. Alargadas (consecutivas a golpes con botones, palos, cinturones, látigos...).
3. Cuadrangulares (reproducen la forma de la superficie contundente, como un martillo).
4. Digitadas. Son debidas a presiones violentas de los dedos y dibujan la forma de éstos.

2.2 Evolución

Los contornos de las contusiones son netos al principio, pero esto se pierde pronto, difuminándose con el paso del tiempo por la difusión de la sangre. Igualmente el color evoluciona con el tiempo. Primero es de un color rojo lívido o rojo oscuro y en los días siguientes se va volviendo más oscuro, casi violáceo negruzco, para virar al azulado, al verde y finalmente al amarillo cada vez mas pálido hasta desaparecer. El color es más marcado en el centro que en la periferia.

Debemos diferenciar dos excepciones en los colores hemáticos evolutivos: las equimosis subconjuntivales que no cambian de color y las equimosis subungueales, que pueden oscurecerse pero continúan así hasta desaparecer por el cambio ungueal.

2.3 Duración

La duración depende de:

1. Superficialidad y extensión de la contusión.
2. Laxitud del tejido celular subcutáneo.
3. Edad del sujeto: la reabsorción es más lenta cuanto mayor es el sujeto.
4. Estado de salud del traumatizado.
5. Profundidad de la extravasación sanguínea.
6. Localización de la extravasación: que está en relación con la vascularización de la región. Las que más tardan son las equimosis subconjuntivales y las subungueales.

3. DIAGNÓSTICO MÉDICO-LEGAL DE LAS EQUIMOSIS

Poseen un extraordinario interés médico-legal, pese a su escaso valor clínico, dado que proporcionan los datos más valiosos para la reconstrucción de los

hechos en cuyo desarrollo se produjeron las equimosis. Su diagnóstico médico-legal implica el análisis de sus caracteres con relación a los diversos aspectos peculiares de los traumatismos contundentes.

3.1 *Equimosis verdaderas o falsas*

1. En el vivo. Existen dos causas de error: que una contusión no produzca equimosis y que aparezca equimosis en ausencia de contusión.
 - a) Las contusiones sin equimosis pueden suceder:
 - Porque los vasos sanguíneos resistan el impacto sin desgarrarse.
 - Porque exista una rotura cardiaca y no llegue sangre a la periferia tras el traumatismo.
 - Porque el instrumento contundente esté envuelto en un cuerpo blando que suavice la aspereza del golpe.
 - b) Las equimosis sin contusiones se deben a la existencia de enfermedades en las que se producen equimosis espontáneas. Entre ellas figuran diátesis hemorrágicas, escorbuto, eritema nodoso, intoxicación fosforada, enfermedades orgánicas del sistema nervioso (meningitis aguda, ictus...), procesos convulsivantes, etc.
2. En el cadáver.
 - a) Equimosis asfícticas: la confusión es difícil porque se trata de manchas de pequeñas dimensiones que se distribuyen en un territorio muy delimitado, como es la cara.
 - b) Equimosis patológicas: aquellas que se producen por una enfermedad de las que hemos citado. Tienen como característica fundamental su pequeño tamaño y la diseminación por toda la superficie corporal.
 - c) Coloraciones pseudoequimóticas: son los cambios de coloración que se producen en el cadáver y que a veces pueden dar lugar a confusión:
 - Manchas cianóticas: aparecen en el rostro y más raramente en la región del cuello en casos de muerte por insuficiencia cardiorrespiratoria aguda. Por su localización se prestan a confundirse con violencias mecánicas de sofocación y estrangulación.
 - Livideces cadavéricas: no deben confundirse por los siguientes caracteres: están ligadas al decúbito, por lo que sólo se forman en los territorios declives; no son prominentes, la sangre no está extravasada, no hay laceración ni fenómenos inflamatorios reaccionales; y la inhibición sanguínea hipostática desaparece al lavar las livideces con agua destilada. En ocasiones se rompen los capilares por presión hidrostática y aparecen manchas que podrían confundirse con las equimosis. Se diferencian de ellas en que: son puntiformes, petequiales, múltiples, superficiales y radican siempre en zonas de máxima presión hidrostática.

- d) Manchas de putrefacción: las modificaciones de color debidas a los procesos de putrefacción incipiente toman el aspecto de equimosis en un examen superficial. Se trata de una hemólisis postmortal de la sangre que pone en libertad la hemoglobina. La posibilidad de confundir la mancha verde con un hematoma en fase de reabsorción es muy remota, en cualquier caso la incisión de esta zona despeja toda duda al no haber extravasación alguna.

3.2 Equimosis vitales y postmortales

Los traumatismos contusos aplicados a cadáveres pueden dar lugar a equimosis por rotura de los vasos ingurgitados cuando ocurre en zonas declives. Para hacer el diagnóstico diferencial deberemos incidir en la zona equimótica y examinar los caracteres de la sangre extravasada. Si la equimosis se produjo en vida la sangre se habrá infiltrado por las mallas de tejido celular; aparecerá fuertemente coagulada y adherida al tejido celular por lo que no es posible desprenderla ni eliminarla, ni procediendo a un lavado sostenido con agua. Cuando es postmortal la sangre aparece fluida o débilmente coagulada.

3.3 Topografía de las equimosis

Normalmente aparecen en la zona contundida, pero no debemos olvidar que en ocasiones pueden aparecer a distancia cuando la sangre migra a través de espacios libres de la región. Las más frecuentes son las equimosis orbitarias en fracturas en la base del cráneo.

3.4 Número de equimosis y traumatismos

Normalmente coinciden, pero pueden existir causas de error como son: un objeto irregular que puede dar lugar a varias equimosis en un solo golpe o un objeto contundente que golpea varias veces en el mismo sitio y sólo provoca una equimosis.

3.5 Data de las contusiones

Sólo se puede establecer de forma aproximada dada la variabilidad de factores ya señalados anteriormente que pueden influir en su evolución: se exponen a continuación los valores dados por algunos autores:

1. Rojo oscuro: equimosis provocada hace pocas horas.
2. Negruzco: de 2-3 días (Tourdes).
3. Azul: de 3-6 días (Tourdes), de 5-6 días (Ascarelli), de 2-3 días (Devergie).
4. Verdoso: de 12-17 días (Tourdes), de 7-12 días (Ascarelli), de 5-7 días (Devergie).
5. Amarillo: más de 17 días (Tourdes), de 15-20 días (Ascarelli), de 7-8 días (Devergie).

4. CONTUSIONES PROFUNDAS

Ocurren en zonas donde la piel es elástica sin planos óseos subyacentes, lo que puede dar lugar a lesiones internas en órganos.

Tiene importancia en la semiología médico-legal analizando los criterios topográfico, morfológico y cuantitativo.

4.1 Criterio topográfico

Las erosiones y las excoriaciones se encuentran de ordinario en partes descubiertas y asequibles, más especialmente sobre partes salientes, debajo de las cuales hay resistencias óseas. Puede proporcionar información sobre:

- a) Atropellos: la localización de las erosiones indica la posición del individuo al ser atropellado y la dirección que llevaba el vehículo.
- b) Arrastramientos: producen rasguños extensos y profundos que señalan la dirección de arrastre del vehículo.
- c) Sofocaciones: en este caso se ven erosiones y excoriaciones producidas por las uñas que se localizan alrededor de nariz y boca.
- d) Estrangulaciones a mano: también las erosiones localizadas en cuello tienen gran valor. En los casos de infanticidio por este mecanismo se plantea a veces la necesidad de distinguir las erosiones de tal origen con las que haya producido la parturienta que libra sin auxilio cuando intenta extraer el feto. En este último caso la concavidad de los estigmas está dirigida hacia arriba. En la estrangulación la concavidad es lateral.
- e) Agresiones sexuales: las agresiones sexuales en general dan lugar a erosiones próximas a los órganos genitales, pero también a distancia al tratar de sujetar los brazos y alrededor de la boca para que la víctima no grite.
- f) Riñas: se producen señales diversas de defensa y lucha, bajo la forma de excoriaciones distribuidas irregularmente por todo el cuerpo.

4.2 Criterio morfológico

La forma de las erosiones puede ser irregular, que no informa sobre el objeto que las ha producido, o figurada, en cuyo caso permiten a veces establecer qué instrumento las produjo. Entre ellas se encuentran:

- a) Erosiones por ruedas de vehículos: suelen ser de forma rectangular alargada, a veces con los dibujos de las ruedas.
- b) Erosiones lineales o en forma de cinta: son producidas por látigos, bastones, etc.
- c) Erosiones en forma de suela de calzado: debidas a pateamientos y puntapiés. Si corresponde al tacón tienen forma de herradura.
- d) Erosiones cuadrangulares: reproducen la superficie contundente del instrumento, como ocurre con los martillos.

- e) Erosiones lineales: cuando son múltiples, finas, paralelas y equidistantes entre sí, debe pensarse en la acción de las garras de animales.
- f) Arañazos: son las erosiones que mayor número de veces motivan actuaciones médico-legales. Se les llaman también estigmas ungueales y son el resultado de la acción traumática de las uñas. Pueden ser:
 - Excoriación lineal: delgada, de forma arqueada y reproduce el borde de la uña, se denomina también estigma ungueal.
 - Arañazo: excoriación delgada, alargada y más o menos profunda, que corresponde a la uña que resbala tangencialmente sobre la piel.
 - Excoriación con rasguño: la lesión más o menos larga tiene un borde inicial ligeramente convexo y uno terminal ligeramente cóncavo, mientras que los bordes laterales, rectilíneos, son poco netos. Se produce cuando la uña, después de haber profundizado ligeramente en la piel, resbala con fuerza.

4.3 Criterio cuantitativo

El tamaño de las erosiones y excoriaciones varía con el instrumento y modalidad de producción, por lo que sirve en ocasiones para la identificación de aquél.

5. HERIDAS CONTUSAS

Son lesiones producidas por instrumentos contundentes, en las que, además de la acción contusiva, superficial o profunda, tiene lugar una solución de continuidad de la piel, cuya elasticidad es vencida por la acción del instrumento.

5.1 Caracteres de las lesiones

Se caracterizan por una gran irregularidad, que dependerá de la región contundida, de la fuerza del golpe, del instrumento, etc.

1. Si el instrumento golpea perpendicularmente, la herida es irregular, con los bordes dentados. El tejido subcutáneo se desgarrá más extensamente que la piel, por lo que los bordes están despegados. Aparecen además excoriados y equimóticos. La profundidad es variable y el fondo desigual, con ciertos elementos que permanecen a manera de puente entre las paredes de la herida.
2. Si actúa oblicuamente se observa un mayor despegamiento de los bordes de la herida, despegamiento que a veces asume extensiones notables. El despegamiento de la piel puede combinarse con laceraciones dando lugar a colgajos irregulares con la superficie profunda muy desigual.

3. Si la piel se distiende al ser aplastada entre la potencia vulnerable y un borde óseo subyacente, se suelen producir heridas alargadas y bastante regulares, que toman el aspecto de hendiduras lineales.

5.2 Diagnóstico médico-legal

No suelen presentar problemas dadas sus características, en algún caso con heridas incisivas, pero el examen cuidadoso despeja toda duda.

6. MORDEDURAS

Se denominan así las lesiones contusas producidas por los dientes. Se deben a un mecanismo combinado de presión y tracción. Las mordeduras pueden causarlas los animales o el hombre. En el primer caso pueden plantear accidentes de trabajo y en el segundo son lesiones dolosas.

Caracteres de las lesiones

Las heridas por mordeduras presentan a lo largo de sus bordes las huellas de los dientes que las han producido, siendo ésta su principal característica formal. Suelen ser semilunares, múltiples y a menudo están rodeadas por una zona más o menos contusa y equimótica.

- a) Mordeduras humanas: presentan forma de herradura de caballo, con pequeñas soluciones de continuidad. Suelen localizarse en orejas, labios o pezones, y a veces se producen arrancamientos.
- b) Mordeduras animales:
 - Perros: pueden producir arrancamiento cuando se encuentran excitados o simple mordedura cuando se encuentran tranquilos, y en ellas sólo dejan huella de caninos o de incisivos.
 - Gatos: producen heridas por los caninos de dimensiones menores que las de los perros, pero más profundas por ser más afilados. Los arrancamientos son muy raros.
 - Caballos: suelen ser graves y se producen en antebrazo, mano y cara. Las lesiones tienen la forma de dos semicírculos por su concavidad y no suelen guardar el mismo eje, por los movimientos de lateralidad en la mordida en estos animales. Normalmente aparecen acompañadas por otras lesiones de golpeamiento y de arrastramiento.

CAÍDAS

Aquellas que se producen en el mismo plano de sustentación del sujeto, es decir, cae al suelo desde su altura. La precipitación supondría un desplome desde una altura muy superior al plano del suelo.

1. DIAGNÓSTICO MÉDICO-LEGAL

Desde un punto de vista médico-legal se distinguen:

- a) Caída simple o estática: no existe ningún componente dinámico extraño a la caída; no suele conducir a la muerte.
- b) Caída complicada: a la caída se le añade otro componente lesivo que complica la violencia traumática y agrava sus consecuencias. Por ejemplo al caer la víctima sobre el agua, sobre el fuego, etc.
- c) Caída fásica: la caída tiene lugar en dos momentos sucesivos.
- d) Caída acelerada: a los efectos de desplome del cuerpo se añade un componente dinámico debido a la velocidad que aumenta la fuerza viva.
- e) Caída postmortal: es una posibilidad a tener en cuenta.

2. LESIONES DE LA CAÍDA

Las más frecuentes se suelen localizar en el cráneo, que al golpear con el suelo como si se tratara de un proyectil puede fracturarse y sufrir hemorragias meníngeas, cerebrales, contusiones, etc. Otras lesiones también frecuentes suelen producirse en el cuello del fémur en ancianos y en las extremidades superiores que se extienden para amortiguar los efectos de la caída. Estos efectos se agravan con la edad.

PRECIPITACIONES

La precipitación se diferencia de la caída por la altura, porque el plano de caída es mucho más bajo que el de sustentación del sujeto.

La precipitación accidental es la más común. Se incluyen accidentes de trabajo, industrial o agrícola. Los niños también sufren caídas desde balcones o ventanas. Otro tipo de personas que pueden precipitarse son los enfermos delirantes.

La precipitación también se produce con ánimos suicidas desde edificios de gran altura, puentes, etc.

El homicidio por este mecanismo no suele ser frecuente, y sólo cuando hay una gran desproporción de fuerza, como ocurre en los niños, puede darse.

LESIONES DE LA PRECIPITACIÓN

Thoinot las resume de la siguiente forma: «piel intacta o poco afectada, destrozos internos muy graves, consistentes en fracturas del esqueleto, roturas de parte blandas y sobre todo de vísceras, ofreciendo las más variadas combinaciones».

1. Lesiones cutáneas

La piel suele estar íntegra o casi íntegra, contrastando con la gravedad de las lesiones internas. Las pocas lesiones que se encuentran consisten en excoriaciones, equimosis y heridas contusas. Si el cuerpo tropieza con otros elementos lesivos, bien en su caída o en el suelo, pueden producirse heridas cortantes o corto-punzantes.

2. Lesiones esqueléticas

Según Dalla Volta las lesiones de la precipitación varían según la modalidad. Distingue:

- a) Precipitación sobre extremidad superior y cabeza: encontraremos prevalentemente lesiones craneoencefálicas, siendo característico el estallido del cráneo «en saco de nueces».
- b) Precipitación sobre la extremidad inferior: prevalecen las lesiones óseas de las extremidades inferiores y de la pelvis. Piga describe en este tipo de precipitaciones el signo de la cuádruple fractura: corresponderían las fracturas a las dos extremidades inferiores a la altura del tercio inferior de la pierna, mientras que en extremidades superiores corresponderían a fracturas en el tercio medio de los húmeros, aunque también pueden localizarse en antebrazo y muñecas. Muy frecuente también es la luxación de las vértebras que puede acompañarse de lesiones de la médula graves o mortales.

En ambos tipos de precipitación se suelen encontrar luxaciones y/o fracturas craneales circunscritas alrededor del orificio occipital, siendo más frecuentes en las caídas sobre los pies al transmitirse, a lo largo de la columna vertebral, el impacto del choque, que produce finalmente el hundimiento de un fragmento del occipital. También en ambos tipos de precipitaciones son muy frecuentes, y de modo especial en la caída sobre los pies, las fracturas de las vértebras. Las fracturas suelen localizarse en la región dorsolumbar, aunque pueden afectar a todas las vértebras. Gran importancia tienen las fracturas por aplastamiento: los cuerpos vertebrales sobre los que se ofrece una fuerte compresión, mientras la columna sufre una flexión anterior forzada, se aplastan mas fuertemente hacia delante que hacia atrás, con lo que toman una forma de cuña de vértice anterior. Suelen acompañarse de luxaciones, en cuyo caso las lesiones medulares son la regla.

- c) Precipitación lateral del cuerpo: son típicas las fracturas de las costillas, pudiendo coexistir con fracturas vertebrales. También se pueden acompañar fracturas del cráneo, pelvis, etc.

3. Lesiones viscerales

En todas las modalidades de precipitación son frecuentes las roturas de vísceras torácicas y abdominales, siendo las más habituales las de hígado, encéfalo y bazo, pero tampoco son raras las de pulmones, riñones u otras vísceras.

LESIONES PRODUCIDAS POR ARMAS BLANCAS

Las armas blancas son los instrumentos lesivos manejados manualmente que atacan la superficie corporal por un filo, una punta o ambos a la vez (Gisbert, 2004).

Las armas blancas son aquellas que producen las lesiones por un mecanismo directo, es decir, por ellas mismas. Pueden ser típicas cuando se fabrican con el fin propio de actuar para cortar, lacerar, etc., como los cuchillos, las navajas, las hachas, las tijeras, o pueden ser atípicas cuando su fabricación no se realizó para esos fines, pero se emplean en ocasiones como arma de ataque o defensa dando lugar a lesiones similares a las anteriores, como en el caso de destornilladores, espátulas o cualquier otro instrumento usado como arma blanca (Casas, 2000).

1. TIPOS DE HERIDAS

Las heridas que producen estos instrumentos se pueden clasificar en:

1.1 Heridas producidas por instrumentos punzantes

Se llaman así las producidas por instrumentos de forma alargada, de un diámetro variable, pero nunca muy considerable, de sección circular o elíptica, que terminan en una punta más o menos aguda. Un ejemplo típico de este tipo de heridas son las producidas por un punzón.



Figura 1. Instrumentos punzantes encontrados en prisiones. Museo de Antropología Médica y Forense, Paleopatología y Criminalística Profesor Reverte Coma

1.2 Heridas producidas por instrumentos cortantes o heridas incisas

Cuando el mecanismo de acción se realiza cortando la superficie por uno o más filos. Los instrumentos cortantes se definen por la existencia de una hoja de poco espesor. Algunos objetos pueden actuar como instrumentos cortantes, como pueden ser trozos de vidrio o láminas metálicas. Los verdaderos instrumentos cortantes están representados por cuchillos, navajas, bisturíes, etc.

1.3 Heridas por instrumentos corto-punzantes o heridas inciso-punzantes

Cuando la herida se produce por la acción cortante ejercida por uno o más filos y penetra debido a un extremo puntiagudo (cuchillos que terminan en punta, navajas, tijeras, etc.). La parte lesiva de los instrumentos corto-punzantes está constituida por una lámina más o menos estrecha terminada en punta y recorrida por una, dos o más aristas afiladas y cortantes. Según el número de estas aristas, los instrumentos se llaman monocortantes, bicortantes o pluricortantes.

1.4 Heridas por instrumentos cortantes y contundentes

Se llaman así aquellas heridas producidas por instrumentos provistos de una hoja afilada, pero que se acompañan de gran peso, por lo que al efecto cortante añaden el de una gran fuerza viva. Son ejemplos las hachas, espadas, machetes, etc.

2. MORFOLOGÍA DE LAS LESIONES EXTERNAS

2.1 Heridas producidas por instrumentos punzantes

En las heridas producidas por instrumentos punzantes encontramos un orificio de entrada, un trayecto más o menos largo y, si traspasa la zona del cuerpo sobre la que ha actuado, encontramos un orificio de salida.

Di Maio (2003) incluye en este tipo de heridas las producidas por instrumentos puntiagudos, y cita como ejemplo las heridas producidas por un cuchillo. En nuestro caso este tipo de lesiones se incluyen entre las producidas por instrumentos corto-punzantes, que presentan unas características diferentes a aquellas producidas por un instrumento cilíndrico, que son las que consideran la mayoría de los autores como punzantes.

El orificio de entrada radica ordinariamente en la piel, aunque también puede radicar en las mucosas. Cuando el instrumento es tan fino que al dislocar los tejidos no sobrepasa su límite de elasticidad, queda reducido a un punto rojizo, y la huella desaparece en un corto espacio de tiempo, dos o tres días. Este tipo de orificio de entrada lo podemos clasificar como puntiforme. Ahora bien, la levedad del orificio de entrada no presume el pronóstico de la herida, puesto que una de las características de estas lesiones es la profundidad, pudiendo alcanzar en su trayecto órganos profundos importantes y tener consecuencias muy graves.

Si el instrumento es más grueso, con lo que su diámetro sobrepasa el límite de elasticidad de los tejidos, el orificio adopta la forma de una hendidura de ángulos ligeramente redondeados, a modo de ojal, y que sigue la dirección de las fibras elásticas de la región, según las leyes de Filhos y Langer.

La forma y dirección del orificio de entrada son de una gran importancia médico-legal, ya que en ello reposa en buena parte el diagnóstico del instrumento responsable. De ahí que motivara investigaciones experimentales, hoy clásicas, y cuyos resultados se sintetizan en las llamadas leyes de Filhos y Langer de 1881 que señalan:

1. Las heridas producidas por objetos punzantes siempre se dirigen en un mismo sentido, cuando asientan en una misma región, lo que las diferencia de las incisas bicortantes, que pueden presentar cualquier dirección aún en una misma región.
2. Las heridas punzantes que asientan sobre una región en la que convergen varios sistemas de fibras de dirección divergente tienen forma triangular o de punta de flecha.

En relación al trayecto, estas heridas forman un canal que va cambiando su trayecto a medida que atraviesa los distintos órganos o tejidos, en razón de los componentes elásticos. En el cadáver este trayecto se visualiza por una línea rojiza que resulta del derrame de sangre en su interior.

El orificio de salida, cuando existe, es de ordinario más irregular y tiene los bordes evertidos al perforarse la piel de dentro afuera. Su tamaño suele ser menor que el del orificio de entrada, lo que es debido a la forma cilíndro-cónica del instrumento, con lo que su extremidad libre es de menor diámetro.

2.2 Heridas producidas por instrumentos cortantes o heridas incisas

Las heridas por instrumentos cortantes, o heridas incisas, responden en general a tres tipos: heridas lineales, mutilantes o en colgajo.

En las heridas lineales el orificio de entrada adquiere la forma de ojal, con los bordes retraídos tanto más cuanto más perpendicular sea la dirección de las fibras elásticas de la piel. También podremos observar que la herida es más profunda en la zona de ataque haciéndose más superficial en cuanto nos acercamos hacia el extremo de salida. Se pueden observar a veces una o dos colas, que se forman al deslizarse el arma sobre el cuerpo, siendo lo más frecuente observar sólo una, la de salida. En el caso de que aparezcan las dos, la más larga siempre es la de salida.

Otra característica de este tipo de lesiones es la de no presentar puentes de unión entre las paredes de la herida, lo que las va a diferenciar de las heridas contusas.

Si sólo se roza la superficie, estas heridas adoptan la forma de erosiones simples o arañazos, y si se actúa sobre zonas de pliegues, como los párpados, una sola acción puede originar dos o más heridas unidas entre sí por puentes de tejido indemne.

Las heridas mutilantes se producen cuando el instrumento ataca una parte saliente del cuerpo (oreja, punta de la nariz, dedos, etc.) y da lugar a la separación

completa o casi completa de estas estructuras. Si el arma no está muy afilada es corriente que se unan mecanismos de arrancamiento o tracción.

Las heridas en colgajo se producen cuando el instrumento cortante penetra más o menos oblicuamente, con lo que uno de los bordes queda cortado en bisel, mientras que por el otro resulta una lámina o colgajo de sección triangular con el borde libre.

Por regla general, las heridas incisas, exceptuando las producidas en la región cervical, son menos peligrosas que las inciso-punzantes dado que son más superficiales y raramente van a afectar a órganos vitales. Son más frecuentes en los brazos y en la cara o en zonas protegidas como el tórax o la cabeza. La hemorragia es la complicación más grave de este tipo de heridas.

2.3 Heridas por instrumentos corto-punzantes o heridas inciso-punzantes

Son las más importantes, dada la frecuencia con que se observan en casos de homicidios y suicidios en tentativa o consumados. Se producen por un mecanismo mixto, ya que unen los efectos de los instrumentos punzantes y los cortantes, por cuanto actúan simultáneamente por la punta y por el filo o filos.

La característica principal es que la profundidad es mayor que la anchura. Aunque pueden penetrar la piel y el tejido subcutáneo lo más frecuente es que afecten en profundidad, pudiendo producir en numerosas ocasiones la muerte al afectar a órganos vitales.

Los cuchillos son las armas más frecuentemente implicadas en este tipo de heridas.

El orificio de entrada variará según el arma empleada:

- a) Hoja plana monocortante: la herida tiene forma de fisura, pero de sus dos extremos uno es más agudo y, a menudo, presenta una cola evidente, mientras que el otro es más romo, como redondeado.

Si la herida es perpendicular a la dirección de las fibras elásticas cutáneas, la forma es más oval, con mayor retracción de los bordes, lo que hace que debamos aproximar los bordes para poder observar las diferencias en los ángulos de los dos extremos.

Si la hoja es plana monocortante pero más gruesa, el ojal que se forma permite distinguir entre un extremo agudo correspondiente al filo y uno romo opuesto que corresponde al lomo del arma, pudiendo incluso llegar a tener una morfología cuadrada.

- b) Hoja plana bicortante: si la hoja es plana bicortante se forma una fisura y su dirección es independiente de las fibras elásticas de la zona. Los dos extremos son agudos y puede no existir ninguna cola, depende de si el arma al entrar o salir forma un ángulo agudo y de si forma un ángulo agudo tanto al entrar como al salir. Su dirección sigue la del diámetro transversal del instrumento y, por tanto, cambia según la posición de éste.

- c) Hoja pluricortante: en este caso se produce un orificio estrellado con tantas puntas como bordes afilados tenga el arma.

En ocasiones puede que alguno de los bordes no marque el corte por lo que no siempre se puede deducir de la herida la forma del instrumento.

El trayecto puede ser único o múltiple para un solo orificio de entrada, cuando sin extraer completamente el arma se introduce de nuevo. Puede además ser de fondo ciego o de canal completo con orificio de salida.

El orificio de salida puede estar presente o no. Cuando está presente es de menor tamaño que el de entrada, dado que las armas corto-punzantes son normalmente más finas y aguzadas por la punta. Es también habitual que cuchillos y navajas sean bicortantes en la punta y monocortantes en la base, por lo que la forma del orificio de entrada y el de salida será distinta.

Si el arma tiene suficiente longitud y la herida recae en ciertas regiones, es posible encontrar dos orificios de entrada y uno de salida para una misma herida cuando el instrumento ha atravesado totalmente una parte del cuerpo y ha alcanzado otra subyacente, por ejemplo, una herida en el tórax después de haber traspasado el brazo.

Otro instrumento que produce heridas inciso-punzantes son las tijeras, que por su especial morfología dan lugar a lesiones con caracteres propios, que permiten individualizarlas.

Según estén abiertas o cerradas la morfología de la lesión va a ser diferente. Si se introduce con las dos ramas cerradas produce una herida única en forma de ojal o incluso de rombo, a veces con una melladura en uno o ambos lados, que resultan de la acción cortante del borde afilado de cada rama de la tijera. Si se introducen con las ramas abiertas producen simultáneamente dos heridas en forma de fisura lineal que dibujan en conjunto una V completa o incompleta, según que se unan totalmente o no en el vértice.

Debemos tener en cuenta la frecuencia con la que se producen heridas atípicas, que se pueden confundir con heridas punzantes o con heridas corto-punzantes

2.4 Heridas por instrumentos cortantes y contundentes

Las heridas que producen estos instrumentos son las llamadas heridas inciso-contusas y se caracterizan por combinar el mecanismo cortante y el contundente.

Se producen porque el instrumento tiene una gran fuerza viva, como ocurre con el hacha o la espada, o bien porque el instrumento esté mellado. Con este tipo de arma no suele darse la acción de deslizamiento.

En estas heridas son muy frecuentes las lesiones óseas, consistentes en fisuras, fracturas, astillamientos o incluso sección completa. También podemos encontrar colgajos musculares, lesiones de órganos profundos e incluso amputación completa de un miembro.

3. PROBLEMAS MÉDICO-LEGALES DE LAS HERIDAS

3.1 Identificación del arma

Es uno de los puntos más difíciles de dilucidar, pudiendo en la mayoría de los casos establecer si una determinada arma es compatible con la producción de unas lesiones o no.

1. En las heridas punzantes se puede señalar en términos generales que:
 - a) El grosor de la herida suele ser inferior al del arma, dado que la elasticidad de los tejidos que va atravesando hace que se retraigan una vez retirado el instrumento. La morfología va a ser puntiforme u oval, lo que no permite tampoco establecer una relación para identificar el arma. Sólo va a ser posible determinar su forma cuando la lesión afecte a un cartílago o a un hueso.
 - b) La longitud del arma tampoco va a ser fácil de establecer, debido a la elasticidad de los tejidos que hará que se contraigan cuando se presiona el arma y después recobrarán su morfología habitual.
2. En las heridas incisivas puras es prácticamente imposible poder establecer la anchura y longitud del arma, por lo que lo único que podremos afirmar es que se ha producido con un agente cortante, pero no el tipo de arma.
3. En las heridas inciso-contusas, la identificación del arma es también difícil, pudiendo la mayoría de las veces establecer que se ha producido por un instrumento inciso-contuso, pero sin poder decir de cuál se trata.
4. En las heridas inciso-punzantes se puede realizar un estudio algo más amplio, por la mayor frecuencia en que se ven implicadas en delitos de lesiones y en muertes violentas.

3.2 Dimensiones del arma

Si la herida se ha provocado con un arma monocortante, la longitud de la herida coincide con la anchura de la hoja del arma sólo si ésta ha penetrado perpendicularmente y ha conservado esta dirección al salir, pues en caso contrario, si el sentido de la penetración es oblicuo, la herida es más ancha que la anchura real que tiene el arma.

Se debe realizar una medición de la longitud de la herida de forma milimétrica, tal y como aparece en la piel. En la mayor parte de los casos, la parte central se separa más por sus bordes que las laterales y adopta la forma de una elipse. La amplitud de esta separación dependerá de su localización anatómica, siendo mayor en zonas de pliegues, como la ingle o la axila. En estos casos se aconseja realizar una nueva medición después de aproximar los bordes de la herida, objetivándose en la mayoría de los casos una longitud ligeramente superior que corresponde más fielmente con la longitud del arma.

Además deberemos tener en cuenta otros aspectos como son los movimientos que haya podido tener la hoja en la herida, el filo de la hoja, así como el grado de penetración.

3.3 Número de bordes

No siempre va a ser posible establecer si todas las aristas del arma se marcan en la herida por lo que a veces podrá confundirse el instrumento agresor. Si el número de heridas es múltiple, las posibilidades de determinar la forma del instrumento aumentan. El examen microscópico de los tejidos cutáneos seccionados por el arma facilita información complementaria sobre la forma del instrumento. Puede ser útil incluir en parafina el bloque de la herida y realizar unos cortes perpendiculares al eje del trayecto, en los cuales se ven muy nítidamente la forma del corte. Cuando la herida afecta al cartilago queda marcada una huella que sigue fielmente la forma del instrumento. En algunas ocasiones, armas bastantes puntiagudas se rompen al alcanzar el hueso, lo que facilita el problema del reconocimiento del arma.

3.4 Longitud del arma

Aunque de forma general podemos decir que la longitud del arma viene determinada por la profundidad de la herida, esto no siempre es así. Unas veces porque no toda el arma se ha introducido, en cuyo caso la profundidad de la herida será menor que la longitud del arma. Otras veces porque el orificio de entrada se halla en tejidos blandos o sobre cavidades depresibles, y el impacto del extremo de la empuñadura hace que la profundidad de la herida sea mayor que la longitud del arma; este tipo de lesión ha sido llamado herida en acordeón.

Además se debe tener en cuenta, si se trata de cadáveres, que las relaciones viscerales se modifican después de la muerte sobre todo a nivel torácico-abdominal por el estado de respiración, por lo que las últimas costillas están más elevadas y lateralizadas, lo que incrementa la distancia entre la piel y las estructuras profundas.

3.5 Dirección del ataque

Puede ser de interés cuando se trata de reconstruir los hechos, incluyendo la posición de la víctima y del agresor. No siempre es posible ni tarea fácil realizar esta determinación, pero debemos en la medida de lo posible estudiar el trayecto de la herida y tratar de llegar a unas conclusiones que pueden ser de gran interés para el tribunal. Así Casas (2000) señala como ejemplo que una herida en el hemitórax izquierdo puede acabar en la región inframamaria derecha y, si por la disección cuidadosa se observa que la hoja penetró en el sexto espacio intercostal izquierdo, llegó al tórax atravesando el ventrículo derecho, después el diafragma para acabar en el hígado, justo a la derecha de la línea media; con estos datos es posible indicar casi con seguridad que la herida se realizó de arriba abajo y de izquierda a derecha.

En cualquier caso es preferible esperar a que el agresor indique cómo se produjo el ataque y con los datos anatómicos corroborar o no tal versión.

3.6 Diagnóstico del origen suicida, homicida o accidental

No existe ninguna regla general que permita en todos los casos establecer con certeza la etiología médico-legal de una herida por arma blanca. Además, datos importantes como son el estudio del lugar de los hechos, en relación con el desorden, localización del arma, del cadáver, notas de despedida, etc., harán que podamos sospechar su etiología médico-legal.

Di Maio (2003) expone de forma resumida las características que tienen los diferentes tipos de heridas por armas blancas en relación con la etiología médico-legal de forma esquemática:

1. Heridas penetrantes

a) Apuñalamientos suicidas:

- Las heridas son habitualmente múltiples y localizadas en la parte media o izquierda del tórax, la mayoría heridas superficiales o que afectan sólo a la piel.
- Las heridas punzantes no suelen atravesar la ropa, lo cual es compatible con que el individuo separe o quite la ropa antes de herirse a sí mismo.
- En ocasiones se producen heridas penetrantes en el cuello o en la cabeza, pero son mucho menos comunes que las del tórax; las heridas punzantes en el abdomen son muy raras.

b) Apuñalamientos homicidas:

- Habitualmente se encuentran heridas múltiples, con una profundidad de penetración mayor en el cuerpo.
- Las heridas más graves en el tórax son las lesiones del corazón o la aorta. Una herida penetrante en el corazón que afecte a la arteria descendente anterior izquierda puede causar una muerte rápida.
- Las heridas penetrantes en el abdomen o en la parte inferior del tórax pueden lesionar los órganos abdominales; las heridas punzantes mortales en el abdomen suelen afectar a los vasos sanguíneos principales o al hígado. Las heridas abdominales pueden generar la muerte diferida por peritonitis y sepsis.
- Las heridas en la cabeza y el cuello son menos comunes que las torácicas o abdominales.

c) Apuñalamientos accidentales:

- Pueden ocurrir, pero son muy raros.
- La hemorragia intracraneal resultante de una herida penetrante puede ser subaracnoidea, subdural, intracerebral o una combinación de éstas.

2. Heridas incisas o cortantes

a) Suicidas:

- Se producen habitualmente en zonas corporales accesibles al individuo.
- Al igual que en las heridas punzantes, la ropa puede estar separada de la zona lesionada.
- Las heridas incisas mortales en los brazos (muñecas y fosa cubital anterior) son casi siempre suicidas, al menos que el lugar de los hechos indique claramente que la muerte ha sido accidental.
- Las heridas en la muñeca y brazo se producen habitualmente en la zona flexora (superficie anterior).
- Los individuos diestros suelen cortar la muñeca o el antebrazo izquierdos, ocurriendo lo contrario en los zurdos.
- En la posible investigación de una sobredosis siempre se debe mirar en la parte anterior de brazos y muñecas, por si existen marcas de un intento anterior de suicidio.
- Se pueden hallar heridas o marcas de tanteo, asociadas con frecuencia con heridas incisas en muñeca o cuello. Estas heridas suelen ser múltiples y paralelas y se encuentran asociados con la herida incisa mortal.

b) Accidentales: son raras pero existen. En la mayoría de los casos se encuentran fragmentos de cristal que lesionan un vaso importante.

c) Homicidas: suelen estar asociadas con heridas punzantes múltiples. Las heridas letales suelen encontrarse en el cuello.

- Si la herida incisa del cuello se produce desde atrás la lesión resultante comienza cerca de la oreja opuesta a la mano que sostiene el cuchillo. Suele ser más profunda en su comienzo y menos en su final. Habitualmente termina a un nivel más bajo del punto inicial de la lesión.
- Si la herida se realiza desde delante, la herida resultante es habitualmente corta y angulada pero, a veces, pueden verse horizontales. Un agresor que sostiene el cuchillo con la mano derecha suele producir heridas incisas en la parte izquierda del cuello, y ocurre lo contrario en caso de empuñar el cuchillo con la mano izquierda.

3.7 Otros estudios

Son importantes también las investigaciones sobre:

a) Orden de las heridas

Una idea general sobre el orden en el que fueron inferidas las heridas se puede de las zonas afectadas y las características de las heridas, así las

heridas que recaen en zonas mortales de necesidad se puede suponer que son las últimas heridas inferidas. De la misma forma, si en una herida están ausentes los signos de reacción vital podemos deducir que se produjo cierto tiempo después de las que causaron la muerte.

En el caso de que las heridas se entrecrucen, para determinar el orden en que se produjeron, se deben afrontar los labios de una de ellas; si es la que se produjo en primer lugar se unirán también los labios de la segunda, en caso contrario, si no unen los labios ésta será la herida producida en último lugar.

Otro caso que se puede considerar es cuando se han producido todas las heridas por una misma arma y ésta en el transcurso de la acción sufre una melladura. Las heridas realizadas posteriormente presentarán las irregularidades de la melladura.

b) Violencia de los golpes

Es éste un dato que a veces tiene importancia en la reconstrucción del hecho. El diagnóstico debe deducirse de la profundidad de la herida y de las condiciones del territorio anatómico interesado, sobre todo cuando en él radican tejidos duros. En todo caso, sin embargo, deberá ponerse en relación la profundidad de la herida con la agudeza del arma, que cuando es notable permite que se produzcan heridas muy profundas con muy escasa violencia; por el contrario, si el arma es poco afilada o su punta es poca acusada, se hace necesario el uso de mucha fuerza para herir en profundidad.

c) Heridas de defensa

Se producen habitualmente en las manos, en las caras extensoras o cubitales del antebrazo, o en la parte trasera de los brazos. Estas heridas se producen normalmente en un intento de la víctima de defenderse de la agresión. Las heridas de defensa son raramente mortales por sí mismas.

En extremidades inferiores las heridas de defensa son más raras. Estas heridas se producen cuando la víctima está tumbada y lanza patadas al agresor.

d) Artefactos

Es otro elemento a tener en cuenta en el estudio de las heridas. Las heridas pueden ser alteradas o destruidas por el personal médico, produciendo artefactos no presentes en el momento de la agresión.

- Las heridas punzantes pueden ser alteradas, por ejemplo colocando un tubo torácico a través de la herida, o pueden ser destruidas, como puede ocurrir cuando el cirujano la incorpora en una incisión de toracotomía.
- Si se colocan tubos de drenaje en heridas quirúrgicas y se retiran antes de que el cadáver se lleve al instituto de medicina legal es difícil diferenciar cuáles son las heridas debidas a la agresión de las quirúrgicas.
- Una incisión quirúrgica abierta en la muñeca o en el tobillo puede ser similar a una herida incisa que se haya producido en la agresión.

15

PERITACIÓN Y ANATOMÍA ORIENTADA A LA MEDICINA FORENSE. TOMA Y ENVÍO DE MUESTRAS

José Antonio Sánchez Sánchez

*Director de la Escuela de Medicina Legal y Forense.
Universidad Complutense de Madrid*



PRUEBA PERICIAL

La prueba pericial es el medio de prueba por la que una persona ajena, a las partes y al proceso, con conocimientos técnicos especializados, previo examen de los elementos que le ponen a su disposición, dictamina sobre las cuestiones técnicas a las que se le somete. Pretende por tanto, asesorar a la administración de justicia sobre algún punto de naturaleza biológica o médica y su finalidad será la producción de documentos médico-legales, a petición de las partes implicadas en un proceso judicial. Estos documentos están destinados a ser presentados ante el juez en apoyo de los argumentos legales que se sustentan, pero sin que asuman un carácter de prueba.

La peritación puede llevarse a cabo en distintas jurisdicciones (Tabla 1). En la jurisdicción penal la prueba pericial se puede practicar a instancia de las partes o del propio órgano judicial y por uno o más peritos (Tabla 2). El nombramiento del perito o peritos se hace de oficio o incluso verbalmente si la urgencia lo requiere. El perito nombrado no puede negarse al llamamiento del juez, a no ser que estuviere legítimamente impedido.

PROCEDIMIENTO	NORMAS
Civil	Ley 1/2000, de 7 de enero, de Enjuiciamiento Civil
Penal	Ley de Enjuiciamiento Criminal, promulgada por el Real Decreto de 14 de septiembre de 1882 (<i>Gaceta de Madrid</i> , del 17 de septiembre al 10 de octubre de 1882). Ha sufrido numerosas modificaciones
Contencioso-administrativo	Ley 29/1998, de 13 de julio, reguladora de la Jurisdicción Contencioso-Administrativa
Laboral	Real Decreto Legislativo 2/1995, de 7 de abril, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Procedimiento Laboral

Tabla 1. Marco jurídico de la pericia médico-legal

SEGÚN NÚMERO	—Peritos únicos —Peritos que comparten un solo informe que versa sobre cuestiones diversas —Colegio pericial: formado por 2 o más peritos que emiten un informe común
SEGÚN DEPENDENCIA	—Públicos: dependen de la administración de justicia —Privados: no pertenecen a la administración del Estado

Tabla 2. Tipos de peritos

La jurisdicción contencioso-administrativa conoce de las cuestiones que se susciten en relación con responsabilidad patrimonial de la administración pública, entre ellas de sus servicios sanitarios.

En lo que respecta a la peritación médico-legal en general, las normas que se establecen para el proceso civil son de aplicación en la jurisdicción contencioso-administrativa.

En el ámbito de la jurisdicción social en lo que respecta a la prueba, y siempre que no contradiga la norma específica pericial, son de aplicación las normas que contiene la Ley 1/2000, de 7 de enero, de Enjuiciamiento Civil.

En las Tablas 3 y 4, se expone también las causas de recusación y tacha de peritos.

Haber dado anteriormente sobre el mismo asunto dictamen contrario a la parte recusante, ya sea fuera o dentro del proceso
Haber prestado servicios como tal perito al litigante contrario o ser dependiente del mismo
Tener participación en sociedad, establecimiento o empresa que sea parte del proceso

Tabla 3. Causas de recusación de peritos

Parentesco (cónyuge o pariente por consanguinidad o afinidad, dentro del cuarto grado civil de una de las partes o sus abogados o procuradores)
Tener interés directo o indirecto en el asunto o en otro semejante
Estar o haber estado en situación de dependencia, de comunidad o de contraposición de intereses con alguna de las partes, con sus abogados o procuradores
Amistad íntima o enemistad con cualquiera de las partes, sus procuradores o abogados
Cualquier otra circunstancia debidamente acreditada, que les haga desmerecer en el concepto profesional

Tabla 4. Causas de tacha de peritos

PERITACIÓN EN MATERIA PENAL

Con el nombre de peritación médica o prueba pericial médica, se conocen todas aquellas actuaciones periciales médicas mediante las cuales se asesora la administración de justicia sobre algún punto de naturaleza biológica o médica. (Gisbert, 2004).

Los peritos médicos que intervienen en las pruebas periciales pueden haber sido designados directamente por el juez o por éste a propuesta de las partes, o ser solicitado por éstas a su iniciativa y a sus expensas.

Entre estas posibilidades la tercera es la que se denomina peritación privada. Tiene la finalidad de producir documentos médico-legales, a peti-

ción de las partes implicadas en un proceso judicial, que sean aclaratorios de algún hecho científico relacionado con aquel procedimiento legal. Estos documentos están destinados a ser presentados ante el juez en apoyo de los argumentos legales que no se sustentan, pero sin que asuman carácter de prueba. Tienen simplemente la función de aclarar y fundamentar el escrito legal al que acompañan.

1. PERITO

Aquella persona que posee conocimientos especiales y cuyo concurso es requerido para ilustrar y asesorar a los jueces y tribunales. Su función se designa con la denominación de informe pericial. De acuerdo a la ley los peritos pueden ser titulados o no titulados.

Según la Ley de Enjuiciamiento Criminal: «el juez acordará el informe pericial cuando para conocer o apreciar algún hecho o circunstancia importante en el sumario fuesen necesarios o convenientes conocimientos científicos o artísticos».

El cargo de perito es obligatorio, no pudiendo nadie negarse a acudir al llamamiento del juez si no estuviera legítimamente impedido.

1.1 *Nombramiento de peritos*

El nombramiento se hace de oficio o incluso verbalmente si la urgencia del caso lo requiere. Una vez hecho el nombramiento de peritos por el juez, se notifica inmediatamente, tanto al actor particular, si lo hay, como al procesado o su representante. Cuando el reconocimiento e informes periciales pueden tener lugar de nuevo en el juicio oral, los peritos nombrados no pueden ser recusados por las partes. Hay lugar a la recusación, en cambio, si no pueden reproducirse en el juicio oral.

En el caso que el reconocimiento y dictamen periciales no puedan reproducirse en el juicio oral, el querellante tiene derecho a nombrar, a su costa, un perito que intervenga en el acto pericial; el mismo derecho asiste al procesado. Cuando los querellantes o los procesados sean varios, han de ponerse de acuerdo, respectivamente entre sí para hacer este nombramiento. El procedimiento es simple: manifiestan al juez el nombre del perito y ofrecen los comprobantes de que la persona designada posee la cualidad de tal perito. No podrá hacerse uso de esta facultad después de empezada la operación de reconocimiento. El juez decide sobre la admisión de dichos peritos.

1.2 *Reconocimientos*

Toda prueba pericial médica contiene, al menos, dos fases: los reconocimientos o investigaciones sobre las personas o las cosas en quienes recae el objeto de la pericia, y el acto pericial propiamente dicho en el cual se emite el informe.

1.3 Acto pericial

El acto pericial tiene lugar siempre presidido por el juez, personalmente o por delegación, y a él pueden concurrir el querellante y el procesado, con sus representantes, que podrán hacer a los peritos las observaciones que estimen convenientes y que se harán constar en la diligencia del reconocimiento.

Si para la práctica de la peritación hubiera que destruir o alterar los objetos que se analizan, deberá conservarse, a ser posible, parte de ellos en poder del juez, para que en caso necesario pueda repetirse el análisis.

Una vez realizado el reconocimiento, los peritos pueden retirarse al sitio que el juez les señale para deliberar y redactar sus conclusiones. Si necesitan un descanso, puede serles concedido por el juez el tiempo preciso, así como suspender la diligencia hasta otro día u hora si así lo exige la naturaleza del examen. En todo caso el juez adoptará las precauciones convenientes para evitar cualquier alteración de la materia objeto de reconocimiento.

El informe pericial comprenderá en lo posible:

1. La descripción de la persona o cosa que sea objeto del mismo, en el estado o modo en que se halle.
2. Relación de todas las operaciones practicadas por los peritos y sus resultados.
3. Las conclusiones que en vista de tales datos formulen los peritos, conforme a los principios y reglas de su ciencia.

1.4 Ley de Enjuiciamiento Civil

En la Ley de Enjuiciamiento Civil la prueba pericial viene regulada por los artículos 335-348. Según este texto, la finalidad y objeto del dictamen pericial tiene que ver con la necesidad de conocimientos científicos, artísticos, técnicos o prácticos para valorar hechos o circunstancias relevantes en el asunto, o adquirir certeza sobre ellos.

La Ley de Enjuiciamiento Civil clasifica los procesos como sigue: declarativos, de ejecución forzosa y medidas cautelares. Los primeros pueden ser: juicio ordinario y juicio verbal; mientras en los procesos especiales distingue: en materia de familia (sobre la capacidad de las personas, sobre filiación, paternidad y maternidad y los matrimoniales y de menores), de división de la herencia, de liquidación del régimen económico matrimonial, monitorio y cambiario.

La nueva ley pretende agilizar los tramites procedimentales, para ello recoge en el artículo 336 que los dictámenes periciales se aporten con la demanda o con la contestación a ésta cuando se hace de forma escrita; estos dictámenes se formularán por escrito y se acompañarán de otros documentos, objetos o materiales que complementen la opinión pericial sobre el objeto de la pericia. La

excepción a esto debe justificarse como indican los apartados 3 y 4 del artículo 336, indicando el motivo de la imposibilidad de su realización en el plazo del que se disponía para contestar a la demanda. En este caso, indicarán cuáles son los dictámenes de los que pretenden valerse, los cuales se trasladarán a la parte contraria antes de la vista en el juicio verbal y de la audiencia previa al juicio ordinario. Ante éstos las partes manifestarán si desean que los peritos comparezcan en el juicio, y si en él sólo explicarán el dictamen o deben responder a las preguntas, objeciones o propuesta de rectificación e intervenir en cualquier otra forma útil al objeto del pleito; el tribunal decidirá al respecto. En el caso de que en la audiencia previa al juicio se ponga de manifiesto la necesidad o utilidad del dictamen, se debe aportar éste al menos 5 días antes de la celebración del juicio o de la vista acordando, también en este caso el tribunal, la necesidad o no de la presencia de los peritos en el juicio o vista.

En el caso de que alguna de las partes tuviere derecho a asistencia jurídica gratuita, no tendrá que aportar el dictamen con la demanda o la contestación, sino sólo anunciarlo para que se proceda a la designación judicial del perito con arreglo a la Ley 1/1996, de 10 de enero, de Asistencia Jurídica Gratuita.

1.5 Designación de peritos

Los peritos deben poseer el título oficial que corresponda a la materia objeto del dictamen y a la naturaleza de éste, siempre en relación con materias específicas, en cuyo caso sería deseable que hubieran adquirido conocimientos procesales y periciales a través de cursos de preparación.

Atendiendo a la forma en la que se designan, los peritos se diferencian en:

1. Peritos designados a propuesta de las partes. Las circunstancias en las que esto ocurre serán los supuestos de justicia gratuita, cuando las partes lo proponen en los escritos de demanda o contestación a la demanda y, posteriormente, sólo si se alegan nuevos hechos.
2. Peritos designados de oficio nombrados por el tribunal en los procesos sobre filiación, capacidad matrimonial y menores. Designará un único perito por cada cuestión o conjunto de cuestiones que hayan de ser objeto de pericia, siempre que por la diversidad de la materia no sea necesario el parecer de expertos distintos.

1.6 Cualidades del perito

El método médico-legal es ciertamente algo propio de nuestra ciencia. El buen perito resulta de la concurrencia de un conjunto de cualidades:

1. Posesión de unas condiciones ético-científicas.
2. Formación especializada, teórica y práctica en el área que se trate.
3. Otras cualidades son:
 - a) Objetividad para la interpretación de las pruebas materiales.

- b) Reflexión y sentido común para reducir cualquier problema, aún el más complicado, a sus términos más simples.
- c) Juicio para jerarquizar los hechos, subordinar lo secundario a lo principal y correlacionarlos entre sí.
- d) Prudencia en la elaboración de los dictámenes y, sobre todo, en la formulación de las conclusiones. Como aconsejaban los antiguos tratadistas de esta disciplina, el perito debe de saber dudar.
- e) Imparcialidad, derivada de su formación científica que debe traducirse en el contenido de sus informes. El médico legista no es en ningún caso perito de las partes, sino de la verdad. Por ello debe evitar que en la elaboración de los informes pueda aparecer como portavoz de la acusación o de la defensa. Expresará su opinión con tacto, prescindiendo de los epítetos y de los adverbios que den al pensamiento un carácter pasional, poco adecuado para este tipo de actuaciones.
- f) Veracidad. Es imprescindible que la verdad científica sea la que guíe la actuación. Esta verdad debe prevalecer por encima de las consecuencias jurídicas y sociales que se deriven de ella. Por esto, si los informes derivan de las investigaciones en el laboratorio, el perito debe hacerlo constar en el margen de error que conlleva el método utilizado, aunque ello pueda representar una duda que beneficie al acusado. A estas cualidades añadía Mata: diligencia, entereza, moderación, franqueza, consideración, inclinación al bien y dignidad profesional.
- g) Conocimientos jurídicos que le permitan captar exactamente el sentido de las misiones que le sean confiadas y el alcance de las conclusiones que aporte en sus informes.

2. INVESTIGACIÓN DE LA VERDAD PERICIAL

Clásicamente se comenta en medicina legal que los métodos usados en las distintas ciencias son la inducción en las ciencias físicas, la deducción en las matemáticas y la analogía en las ciencias naturales.

Deben aplicarse todos los métodos, pero el método experimental es el que constituye el instrumento de trabajo fundamental para la investigación de la verdad pericial. Su aplicación recoge 4 etapas:

1. Recoger los datos de la observación
2. Construir una hipótesis de trabajo
3. Planificar los experimentos necesarios para confirmarla
4. Llegar a conclusiones válidas

Éste es el esquema básico de un trabajo científico y de un informe judicial.

2.1 Observación

La observación no es recoger al azar lo que solicita nuestro sentido, sino proceder ordenadamente con arreglo a un plan que permita llevarlo a cabo de forma atenta, minuciosa, pronta, imparcial y directa.

1. Atenta: cuando es bastante para sostener la atención voluntaria hasta haber logrado el fin perseguido.
2. Precisa: cuando cada una de las comprobaciones se efectúa con todo detalle posible.
3. Minuciosa: si no se descuida punto alguno, para lo que se precisa:
 - a) Un conocimiento perfecto de la técnica y de sus posibilidades. Bertillon decía «sólo se ve lo que se mira y sólo se mira lo que se tiene en la mente».
 - b) Paciencia para no descuidar ningún detalle, ya que el más pequeño suele ser sólida base para el descubrimiento de la verdad.

2.2 Hipótesis

Todos los hechos recogidos en la observación deben ahora ser introducidos en una elaboración intelectual que los explique lógica y ordenadamente como parte integrante de la hipótesis de trabajo.

2.3 Experimentación

Se entiende por tal la observación prolongada cuyas condiciones se establecen o se modifican artificialmente. Su aplicación en medicina legal tiene principalmente las siguientes circunstancias:

1. Sentada una hipótesis de trabajo, se experimenta para reunir numerosos hechos que la confirmen o desechen.
2. Comprobado un hecho, ratificar el resultado obtenido.
3. Descubierta una técnica nueva como posible aplicación práctica, se repiten sus resultados y se puntualizan las circunstancias en las que tiene lugar para poder utilizarla en otros casos con seguridad en su interpretación.

2.4 Conclusiones

Después de la comprobación experimental de la hipótesis de trabajo con resultado positivo, ésta queda elevada automáticamente a la categoría de verdad científica, que expuesta en forma de conclusiones, sintetiza el resultado

de la investigación pericial. Los peligros de inexactitud que pueden amenazar al perito son:

1. Sacar conclusiones después de observados los hechos, sugestionado por su aparente lógica, sin la rigurosa comprobación experimental.
2. Concluir o elevarse a la generalización sin haber recogido suficiente número de hechos, una vez comprobados experimentalmente unos o pocos datos de observación.
3. Concluir o elevarse a la generalización mediante interpretaciones inadecuadas o forzadas.

Vicios que motivaron a Descartes a sentar en sus *Discours de la méthode* las 4 reglas fundamentales de la investigación:

1. No admitir jamás como verdad lo que no aparezca con toda seguridad como tal, evitando así tanto la precipitación como la prevención.
2. Dividir las dificultades en tantas partes como sea posible, a fin de poder resolverlas mejor.
3. Dirigir ordenadamente las indagaciones, comenzando por los hechos más simples y claros para alcanzar gradualmente los más complejos y oscuros.
4. Enumerar los hechos sin artificiosas eliminaciones y no conformarse jamás con soluciones que no los expliquen todos.

2.5 Partes del informe

- Preámbulo
- Relación y descripción de los objetos acerca de los cuales debe emitirse el informe
- Operaciones practicadas
- Valoración
- Conclusiones
- Fórmula final

ANATOMÍA ORIENTADA A LA MEDICINA FORENSE

Se expone a continuación aquellas orientaciones anatómicas que pueden ser de ayuda en medicina forense y fundamentalmente dentro de ella a la antropología forense y a la criminalística.

La anatomía es la ciencia que describe las estructuras del cuerpo (Rouviere, 1972). Describe y demuestra su organización (anatomía descriptiva), expone su disposición (anatomía topográfica) o estudia las relaciones entre las formas y las funciones (anatomía funcional).

La descripción anatómica necesita comprender ciertos datos físicos que informan sobre dimensiones, peso, color y consistencia del órgano considerado. La forma se describe mediante su comparación con otras formas conocidas geométricas, como la pirámide o la esfera, o de la naturaleza, como árbol, hoja, tallo, etc. Por esto los términos anatómicos son con frecuencia imaginarios: cabezas para las extremidades redondeadas, cuellos para las partes estranguladas, surcos, discos, nervaduras, etc.

Para situar una estructura anatómica lo hacemos en 3 planos del espacio, con referencia a ejes o puntos fijos. Entre los términos que se usan algunos no necesitan explicación, como son: vertical, horizontal, derecho, izquierdo, superficial, profundo..., otros son más propios del lenguaje anatómico y sí la necesitan.

Se señala como plano sagital de un órgano aquel que se orienta de delante atrás; frontal, cuando el órgano o estructura se sitúa en un plano paralelo a la frente, y transversal, cuando el plano es horizontal. Un órgano o estructura presenta una cara medial que mira hacia el eje del cuerpo, o una cara lateral cuando se orienta hacia fuera.

La cara anterior mira hacia delante y la cara posterior mira hacia atrás, también se denominan cara ventral (hacia delante) o cara dorsal (hacia atrás). Una extremidad del órgano anatómico se denomina caudal o craneal según se oriente hacia la extremidad inferior del tronco o hacia el cráneo (Figura 1).

Cuando hablamos de miembros, el término proximal se refiere a la parte más próxima a la raíz; la parte distal es la más alejada. El lado del antebrazo vuelto hacia el eje del cuerpo se denomina cubital o ulnar, el que mira hacia fuera se denomina radial. La mano tiene una cara palmar (la de la palma) y una cara dorsal (el dorso de la mano). La pierna tiene una cara tibial, que mira hacia el eje del cuerpo, y una cara peroneal o fibular que mira hacia fuera del esqueleto. El esqueleto forma el armazón del cuerpo, sirve de órgano de sostén a las partes blandas y forma verdaderas palancas sobre las que actúan los músculos. En el esqueleto distinguimos:

- Una columna media, columna vertebral o raquis.
- Costillas: articuladas por detrás con la columna vertebral y por delante con el esternón.
- Cabeza: articulada con la extremidad superior de la columna vertebral.
- Miembros superiores: unidos al tórax por la cintura escapular.
- Miembros inferiores: unidos a la columna a través de la cintura pelviana.

Algunos huesos forman estructuras que se conocen con su propio nombre, así tenemos:

- Cintura escapular: la componen las clavículas y omóplatos.
- Cintura pelviana o pelvis: la componen los dos huesos coxales y el sacro.

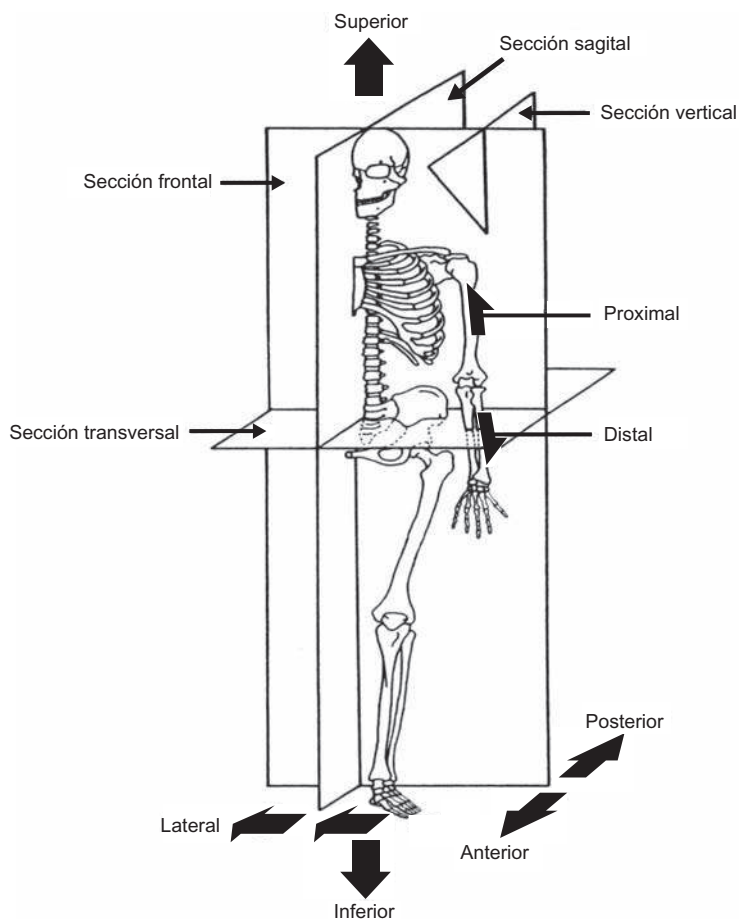


Figura 1. Planos anatómicos del esqueleto

- a) Número de huesos: el número de huesos del esqueleto es de 200, sin contar los huesos del oído, los sesamoideos pequeños ni los huesos wormianos.
- b) Huesos largos: son aquellos en los que predomina la dimensión longitudinal. Se distingue un cuerpo o diáfisis y dos extremidades abultadas o epífisis.
- c) Huesos planos: se caracterizan por el predominio de la longitud y anchura sobre el espesor. Presentan dos caras y un número variable de bordes, según la forma del hueso.
- d) Huesos cortos: son aquellos en los que las 3 dimensiones son prácticamente iguales.
- e) Eminencias y cavidades articulares: son las superficies por las cuales los huesos se unen. Su forma varía según la articulación a la que pertenecen.
- f) Eminencias no articulares: son de formas muy diferentes, y se expresan como tuberosidad, tubérculo, espina, cresta...

g) Agujeros vasculares o conductos nutricios del hueso: en la superficie del hueso se encuentran numerosos orificios, los agujeros vasculares, que dan acceso a los conductos nutricios. Existen 3 órdenes:

1. Conductos u orificios de primer orden, que pertenecen a la diáfisis de los huesos largos y a las caras de los planos y dan paso a la arteria nutricia principal del hueso. La dirección de estos orificios es hacia el conducto medular, siguiendo un trayecto oblicuo que se puede expresar con la siguiente fórmula: «se dirigen hacia el codo y huyen de la rodilla».
2. Los orificios de segundo orden se hallan en la epífisis de los huesos largos, en los bordes y en los ángulos de los huesos planos y en toda la superficie no articular de los huesos cortos. Son muy numerosos, especialmente en la proximidad de las superficies articulares.
3. Los orificios y conductos de tercer orden, de muy pequeño calibre, existen en gran número en toda la superficie no articular de los huesos.

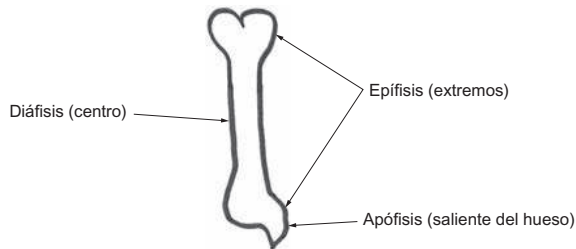


Figura 2. Diagrama general de un hueso

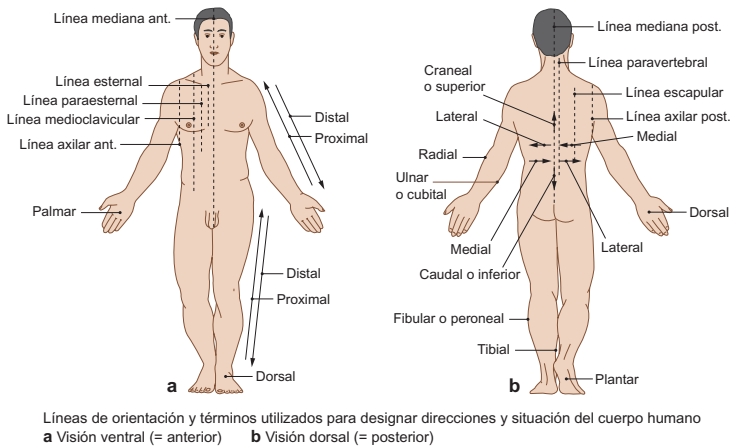


Figura 3. Posiciones anatómicas del cuerpo

Para más detalles también se pueden consultar las siguientes direcciones webs:

a) hipocrates.tripod.com/anatomia/

b) www.aibarra.org/Apuntes/Anatomia/default.htm

TOMA Y ENVÍO DE MUESTRAS

Para toma y envío de muestras remitimos a las publicadas por la Orden de 8 de noviembre de 1996 por la que se aprueban las normas para la preparación y remisión de muestras objeto de análisis por el Instituto de Toxicología: www.mju.es/toxicologia/legislacion/normasMuestras.htm

Las distintas secciones publican la forma en que deben remitirse las muestras correctamente. Estas secciones a las que se puede acceder mediante enlace son:

- Investigación químico-toxicológica (www.mju.es/toxicologia/legislacion/normasMuestras1.htm)
- Experimentación toxicológica (www.mju.es/toxicologia/legislacion/normasMuestras2.htm)
- Investigaciones biológicas (www.mju.es/toxicologia/legislacion/normasMuestras3.htm)
- Análisis Histopatológico (www.mju.es/toxicologia/legislacion/normasMuestras4.htm)
- Análisis Criminalístico (www.mju.es/toxicologia/legislacion/normasMuestras5.htm)



Figura 4. Material de laboratorio para la toma y el envío de muestras



16

LEVANTAMIENTO DEL CADÁVER

Andrés Santiago Saez

*Jefe de la Unidad de Medicina Legal del Hospital
Clínico San Carlos de Madrid*



INTRODUCCIÓN

1. JUSTIFICACIÓN

Toda investigación comienza cuando se notifica a la autoridad responsable, la existencia de un suceso en el que en un primer contacto se aprecia la existencia de al menos un cadáver. Una vez verificada la existencia de ese cadáver, se pone en marcha un algoritmo lógico basado en un método científico. Este método permitirá tras un estudio preliminar elaborar una hipótesis, sobre la que pivotará el resto de la investigación que permita identificar la forma o situación médico-legal de la muerte, así como las fases de la agresión (mecánica de lesiones), circunstancias e identidad de la víctima o del victimario.

2. DEFINICIONES Y CONCEPTOS

Se puede definir la palabra ciencia como un conocimiento racional, sistemático, exacto, verificable y por consiguiente falible (Montiel, 1985).

Se conoce el levantamiento del cadáver como aquella diligencia judicial que tiene por objeto el examen del cadáver en el lugar de los hechos y debe contar siempre con la presencia del médico forense. Es una diligencia efectuada por una comitiva judicial, con la participación de los peritos forenses y de la policía judicial.



Figura 1. Cuerpo de niña de 2-3 años momificado. Museo de Antropología Médica y Forense, Paleopatología y Criminalística Profesor Reverte Coma

Ya la Ley de Enjuiciamiento Criminal, promulgada por Real Decreto el 14 de septiembre de 1882, hace referencia a la inspección ocular en su artículo 326: De la comprobación del delito y averiguación del delincuente, y en el 343: Del cuerpo del Delito: «aún cuando de la inspección exterior pueda presumirse la causa de la muerte, se procederá a la autopsia del cadáver [...]».

Actualmente, el médico forense está supuestamente obligado por el precepto legal antes mencionado, en los casos en los que acude por delegación del juez, a elaborar un informe para el juzgado en el que constará el estado del cadáver, su identidad y circunstancias.

Hace pocos años se añadió al artículo 778 un nuevo apartado (nº 6) redactado en los siguientes términos:

El juez podrá autorizar al médico forense que asista en su lugar al levantamiento del cadáver, adjuntándose en este caso a las actuaciones un informe que incorporará una descripción detallada de su estado, identidad y circunstancias, especialmente todas aquellas que tuviesen relación con el hecho punible.

Con lo cual, no es preciso la presencia del juez en el lugar de los hechos, delegando esta función en el médico.

En resumen, el médico forense realizará dos operaciones médico-legales tanatológicas (Simonin, 1962):

- El levantamiento del cadáver
- La autopsia médico legal

Llamamos inspección técnico ocular al conjunto de observaciones, comprobaciones y operaciones técnico-policiales que se realizan en el lugar de los hechos, con aplicación de métodos científico-técnicos, con objeto de localizar y recoger indicios a efectos de su investigación.

La Criminalística es la ciencia que estudia los indicios dejados en el lugar del delito, gracias a los cuales puede establecerse la identidad del criminal y las circunstancias que concurrieron en el hecho delictivo (Gisbert, 2001).

INFORME TIPO DE LA DILIGENCIA DEL LEVANTAMIENTO

Durante el procedimiento de levantamiento e inspección del lugar se utiliza un documento protocolizado en las diferentes comunidades autónomas, que permite agilizar la obtención de datos sistematizados.

A continuación se presenta el documento utilizado en la Comunidad de Madrid:

DILIGENCIA DE LEVANTAMIENTO DE CADÁVER

**INSTITUTO DE MEDICINA LEGAL
SERVICIO DE PATOLOGÍA FORENSE**

AVISO: ☐ P.N. ☐ G.C. ☐ G.C.T. ☐ Hospital

HORA: _____

NOMBRE DEL FALLECIDO: _____

MORA DEL LEVANTAMIENTO: _____

POBLACIÓN: _____

DIJA DE LA SEMANA: _____

LUGAR **LOCALIZACIÓN**

☐ Domicilio ☐ Camino ☐ Salto ☐ Cocina ☐ Otros _____

☐ Hotel ☐ Canal ☐ Asento ☐ Sueto ☐ Baño _____

☐ Carretera ☐ Calzada ☐ Acero ☐ Cancheta ☐ Puente

☐ Via Urbana ☐ Calzada ☐ Acero ☐ Puente ☐ Estación

☐ Via férrea ☐ Vía ☐ Lateral vía ☐ Estación

☐ Playa ☐ Mar ☐ Orilla ☐ Río

☐ Campo ☐ Zona agrícola ☐ Monte

☐ Otros _____

CROQUIS DEL LUGAR DE LOS HECHOS (FOTO): _____

DATOS REFERENTES AL CADÁVER

Posición del cadáver:

☐ Decúbito supino ☐ Decúbito prono ☐ Decúbito lateral ☐ Derecho ☐ Izquierdo

☐ Otros _____

Regas: ☐ Usado ☐ Desusado ☐ Estado de los vestidos: ☐ limpios ☐ sucios ☐ revueltos

Ojos: ☐ Abiertos ☐ Cerrados

PROTOCOLO

Estado de los elementos cadavéricos:

☐ Rigidez ☐ Inerte ☐ Mandíbula ☐ Cuello ☐ Resto del cuerpo _____

☐ Leve ☐ Asiente ☐ Reintegración tras ser vendida: ☐ Si ☐ No

☐ Lendones ☐ Ando: ☐ Si ☐ No

☐ Se adhieren en la parte posterior del cuello: ☐ Si ☐ No

☐ Continúan en la parte posterior del cuello: ☐ Si ☐ No

☐ Desaparecen al comprimir fuertemente: ☐ Si ☐ No

☐ Otros movimientos: ☐ Ventrales ☐ Torácicas ☐ Otras _____

☐ Instauradas ☐ Ocultas ☐ Raras ☐ Leves

☐ Traspasadas ☐ Raras ☐ Leves

☐ Asientes

☐ Entumescimiento: ☐ Percipible al tacto: ☐ pies ☐ manos ☐ cara

☐ Percipible al tacto en partes cubiertas: ☐ Si ☐ No

☐ Comprobación de la temperatura (temperatura):

☐ Superficie del cadáver: ☐ Ambiental ☐ Aire ☐ Agua _____

☐ Caudales cadavéricos (neurobólos): _____

☐ Deshidratación: ☐ Manchas esteroides ☐ Opacidad corneal ☐ Presencia de la senación ocular

☐ Posible data de la muerte: _____

Signos de violencia en el cadáver: ☐ Si ☐ No

Tipo de lesiones encontradas en el cadáver:

1.- Escoriaciones
2.- Excoriaciones
3.- Hematomas
4.- Hinchos
5.- Fracturas
6.- Quemaduras
7.- Lesiones no traumáticas
8.- Otras _____

Orden de las lesiones:

☐ Centuso ☐ Arma blanca ☐ Arma de fuego

☐ Otros _____

Localización de las lesiones:

Regiones anatómicas:

VISIÓN VENTRAL DEL CADÁVER

1. Cara
2. Cara anterior del cuello
3. Hombros y regiones claviculares
4. Cara ventral del brazo
5. Cara ventral del antebrazo
6. Cara palmar de las manos
7. Cara anterior del torso
8. Cara anterior del abdomen
9. Región pectoral y genital
10. Cara anterior de los muslos
11. Rodillas
12. Cara anterior de las piernas
13. Cara anterior de los pies

VISIÓN POSTERIOR DEL CADÁVER

1. Codo cabellado
2. Cara posterior del cuello
3. Porción posterior de los hombros y homoplatales
4. Cara dorsal de los brazos
5. Cara dorsal de los antebrazos
6. Cara dorsal de las manos
7. Región dorsal
8. Región lumbar
9. Región glútea
10. Región posterior de los muslos
11. Mucosa poplitea
12. Región genicular y tobillo
13. Plantas de los pies

Antecedentes catastróficos

☐ Medios ☐ Inmediatos

Signos de violencia en el lugar de los hechos

☐ Estación revuelta ☐ Ropas del fallecido rotas ☐ Otros _____

☐ Signos de violencia externa presumiblemente provocada por el propio fallecido

☐ Datos propios de autogestión: _____

☐ Otros _____

OBJETOS PRÓXIMOS AL CADÁVER:

☐ Notas

☐ Resos de toxos u objetos para su administración (jeringuillas, papeles, cacharros, etc.)

☐ Armas ☐ Armas blancas (espadas, etc.) ☐ Armas de fuego ☐ Armas contundentes ☐ Otros _____

☐ Celos

☐ Raspa orgánicos ☐ Pelos ☐ Manchas: ☐ Sangre ☐ Semen ☐ Otros fluidos orgánicos _____

☐ Manchas inorgánicas (respostas)

TOMA DE MUESTRAS EN EL LUGAR DEL LEVANTAMIENTO:

☐ Jeringuillas ☐ Papelinas ☐ Cajas ☐ Sangre ☐ Orina ☐ Otros _____

DESTINO DE LAS MUESTRAS

a) Laboratorio ☐ Instituto Medicina Legal ☐ Instituto Nacional de Toxicología

b) Sección: ☐ Toxicología ☐ Policía Científica ☐ Micrología ☐ Biología ☐ Hematología ☐ Criminalística

OTROS DATOS DE INTERÉS

CONCLUSIONES:

Nombre del fallecido: _____

Origen de la muerte: ☐ Natural ☐ Violenta

Posible causa: _____

Posible data: _____

Otros _____

Figura 2. Documento para la diligencia de un levantamiento

OBJETIVO DEL LEVANTAMIENTO

El objetivo es precisar y evaluar las circunstancias en las que se encontró el cadáver, removerlo y trasladarlo del sitio de su localización o hechos, hasta las dependencias del instituto de medicina legal o instituto anatómico forense de referencia, para realizar los estudios forenses completos, en tanto son reclamados por sus deudos o familiares.

Existen por ello unos fines criminalísticos fundamentales, como dice Maples (2002): «la verdad se puede descubrir. La verdad quiere que la descubran».

1. Recolectar los indicios o evidencias.
2. Determinar los elementos que constituyen el delito.
3. Reconstruir los hechos cuando sea necesario.
4. Fundamentar una hipótesis probable de los hechos.

Para ello el grupo investigador debe contar con un equipo que comprenda el material útil para recogida de muestras, su custodia y su precinto, y un vestuario apropiado que evite la contaminación del entorno y del material de autopsia, si se precisa su realización.

ETAPAS DEL LEVANTAMIENTO

Las etapas que integran el procedimiento en el levantamiento del cadáver son:

1. Protección del lugar de los hechos.
2. Observación del lugar de los hechos.
3. Fijación del lugar de los hechos.
4. Descripción del cadáver en el lugar de los hechos.
5. Traslado del cadáver.
6. Examen del cadáver en el instituto anatómico forense o en el instituto de medicina legal.

«No hay malhechor que no deje detrás de él, alguna huella aprovechable», y además, «los indicios son mudos testigos de los hechos», por lo que la alteración o modificación puede traer graves consecuencias para la investigación, desde la confusión hasta el fracaso total y la imposibilidad de lograr u obtener la verdad cierta y concreta del hecho delictivo.

A continuación se desglosará cada una de las etapas del levantamiento, para que el lector aprenda una metodología de estudio e investigación que evite la pérdida de información.

1. PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DEL LUGAR DE LOS HECHOS

La primera actuación consiste en comprobar que el cuerpo se encuentra verdaderamente sin vida, en caso de existir algún signo vital se deberá de inmediato activar el sistema sanitario (Rajackowski, 1998).

En toda pesquisa criminal «el tiempo que pasa es la verdad que huye o se aleja». Por ello se debe actuar con celeridad pero sin atropellos.

Nada se deberá tocar, mover o recoger, mientras no haya sido fijado, fotografiado, localizado en un bosquejo o dibujado, así como descrito minuciosamente en cuanto a la colocación, el estado o cualquier otra observación pertinente.

Para evitar la intromisión de personas ajenas al equipo de investigación, así como de curiosos y de la prensa (se puede producir una importante contaminación de la escena), es precisa la protección de un determinado perímetro.

Éste dependerá de la zona de influencia sobre el cadáver. Si encontramos un cuerpo ahorcado en la esquina de una habitación, probablemente sea la propia habitación la que conserve el mayor número de indicios y vestigios.



Figura 3. *Perímetro de protección en el lugar de un homicidio*

2. OBSERVACIÓN DEL LUGAR DE LOS HECHOS

La inspección técnica ocular es un medio de prueba practicada por los funcionarios que conducen la investigación, o sea el médico forense y la policía judicial.

La inspección criminalística, en cambio, la realiza el perito en criminalística o técnico investigador y consiste en hacer un escrutinio mental activo, minucioso, completo y metódico, con el fin de describir todos los elementos de evidencia física o material sensible significativos, llamados también indicios, para establecer la relación que guardan entre sí y el hecho.

2.1 *Los fines de la observación del lugar de los hechos*

1. Comprobar la realidad del presunto hecho delictivo. No siempre existe un hecho delictivo. Imaginemos que en una concurrida avenida cae al suelo un ciudadano por un problema cardíaco fulminante, falleciendo en pocos segundos. Los testigos informarán de lo que han presenciado, que luego confirmará el examen de la autopsia.
2. Encontrar suficiente evidencia física que permita, por una parte, identificar al autor o autores de los hechos y, por otra, conocer las circunstancias de su participación.
3. Hacer la investigación con el mayor número de recursos posibles, tanto humanos, como materiales y técnicos.



Figura 4. Maletín de lofoscopia

2.2 *Dos objetivos ineludibles*

Por un lado, la reconstrucción de los hechos con una interpretación objetiva de los distintos elementos relacionados y presentes en la escena del crimen y, por otro, la obtención de vinculaciones de personas o cosas con lo ocurrido y con el emplazamiento en cuestión, apelando al «principio de intercambio de materia» postulado por Locard, en el que se afirma que todo contacto deja rastro, convirtiéndose en un posible indicio.

2.3 Elementos técnicos para realizar la observación criminalística

1. Practicarla sin dilación, a ser posible en cuanto se tenga conocimiento del hecho delictivo.
2. Realizarla en las mejores condiciones posibles y auxiliarse cuando el caso lo requiera de instrumentos de medición y ópticos.
3. No omitir o prescindir de ningún detalle por mínimo que parezca, ya que puede ser la evidencia física más valiosa.



Figura 5. *Handscope*

De características similares al Scenoscope, pero de menor potencia y peso, facilita el traslado al lugar de los hechos de una luz forense para ser usada en la práctica de la inspección técnico ocular

3. FIJACIÓN DEL LUGAR DE LOS HECHOS

3.1 Descripción escrita

Se hará de lo general a lo particular, del conjunto al detalle. Aparte de ser un examen minucioso del propio sitio, es aconsejable hacer lo mismo con los alrededores.

3.2 Fotografía

En virtud de que el lugar de los hechos pueda sufrir cambios significativos conforme pasa el tiempo, la primera medida en el inicio de la investigación será fotografiar y que quede un registro permanente de cómo fue encontrado el escenario de los hechos.

No olvidemos que la testificación del perito forense o del perito criminalista se puede producir meses después del suceso y, por ello, nuestra memoria puede verse comprometida.

La fotografía debe cumplir con exactitud y nitidez, así como en secuencias lógicas: vistas generales, medias y acercamientos.

1. Las áreas exteriores, vientos y fachadas.
2. Las vías de acceso posibles y naturales.
3. Vistas del cadáver con más de un punto de referencia o ángulo.
4. Cada evidencia física o conjunto de evidencias que se encuentren próximas entre sí o al cadáver.
5. El cadáver mostrando sus lesiones, el estado y disposición de las ropas, y las armas que se encuentren en las proximidades.
6. Finalmente, los pequeños detalles y micro-evidencias.

Infografía forense

Supone la reconstrucción en tres dimensiones de toda la escena. Se trata de una ayuda inestimable para explicar los acontecimientos en la sede judicial y permite dar respuesta a muchas de las incógnitas planteadas durante la observación del lugar de los hechos.

3.3 Croquis

Tras la toma de las fotografías que se consideren necesarias, se procederá a elaborar el correspondiente dibujo o esquema. Este documento suministra informes sobre las distancias, ya que la fotografía reproduce los detalles pero los limita a una imagen plana.

Son útiles dos tipos de croquis, conocidos como:

a) Simple o plano:

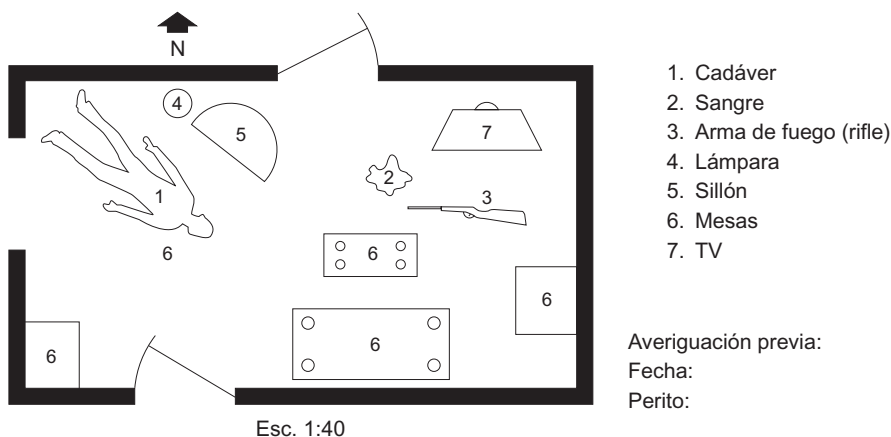


Figura 6. *Croquis simple o plano*

b) De Kenyers o abatible:

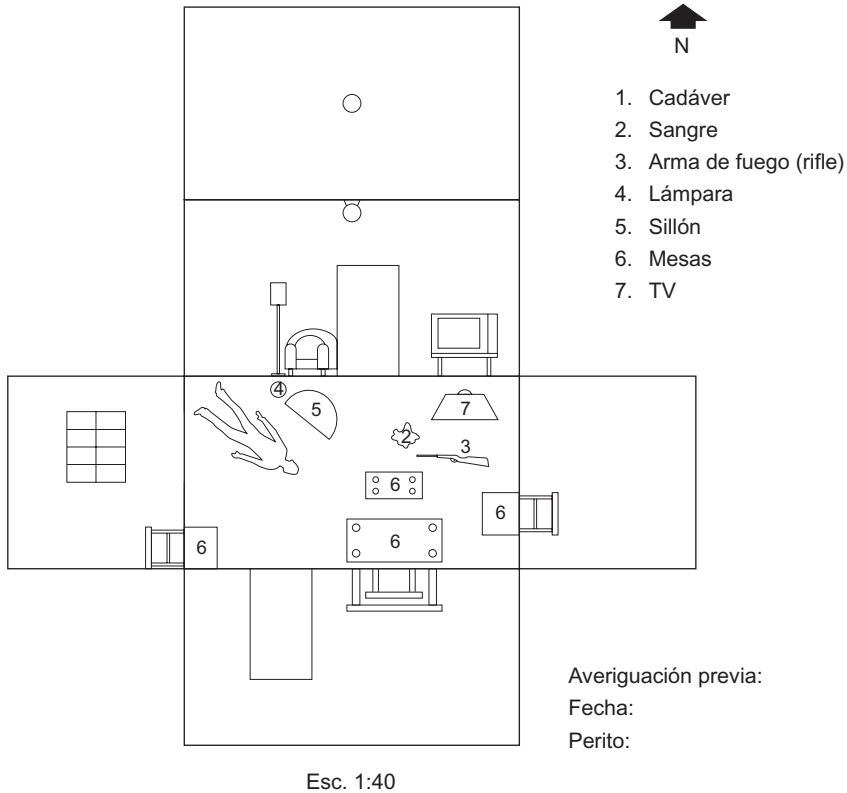


Figura 7. Croquis de Kenyers o abatible

En la elaboración y presentación del croquis hay que considerar las siguientes cuestiones:

1. Todas las medidas deben tomarse con la máxima precisión.
2. Debe contener todo lo que realmente es significativo.
3. Si se ha usado una cámara fotográfica, marcar en el croquis la posición en la que ésta se encontraba.
4. Poner en el croquis la escala utilizada en las distancias.
5. Señalar los puntos cardinales para una correcta orientación.
6. Utilizar la simbología convencional y mundialmente conocida.

3.4 Moldeado

Cuando en terreno blando se encuentran huellas de pisadas humanas o de vehículos y en soportes sólidos se aprecien marcas de fractura, es conveniente sacarles el respectivo molde.

Se recomienda hacer el molde tanto de la huellas o marcas encontradas en el lugar de los hechos, como del objeto sospechoso para luego confrontarlos, en testigo y en problema.

4. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE LOS HECHOS

1. En los individuos desconocidos señalar la media filiación; cuando son conocidos señalar los aspectos antropomorfológicos (sexo, talla, constitución física o complexión, edad aparente, etc.) y el vestuario en general. En la descripción somática se trata de recoger todos aquellos datos físicos y particulares del individuo (antiguas cicatrices, lunares, tatuajes, deformaciones, etc.) (Casas, 2000).
2. Orientación del cadáver con relación a los puntos cardinales y posteriormente señalar las características del medioambiente y los elementos físicos y climatológicos existentes en el lugar donde ha sido encontrado.
3. Posición y actitud que manifiesta: 1º decúbito, 2º sentado, 3º suspendido o colgado, 4º sumergido o 5º otras formas.
4. Lesiones externas con ropa puesta: 1- de forcejeo, 2- de lucha y 3- de defensa.
5. Características especiales de la ropa y del calzado (desgarros o arranamientos) así como si corresponden al sexo apropiado.
6. Manchas sobre o próximas al cadáver.

5. TRASLADO DEL CADÁVER

Es necesario proteger adecuadamente el cadáver para su transporte al instituto de medicina legal o al instituto anatómico forense, evitando el manejo brusco y sin utilizar equipo o instrumentos que alteren su integridad, hasta donde sea posible.

Se recomienda cubrir la cabeza, las manos y los pies con bolsas de papel, principalmente si hay riesgo de desprendimiento de tejidos externos.

6. EXAMEN DEL CADÁVER EN EL INSTITUTO ANATÓMICO FORENSE O EN EL INSTITUTO DE MEDICINA LEGAL

- El cadáver debe ser examinado minuciosamente desde la cabeza hasta los pies, previo retiro cuidadoso de la ropa y del calzado.
- Hay que tomar fotografías desde diversos ángulos y distancias, especialmente acercamientos al rostro con fines de identidad, así como de las

señas particulares (tatuajes, cicatrices y malformaciones si las hay) y de las lesiones traumáticas que presente, pero sin perder los puntos anatómicos corporales de referencia y colocando el patrón comparativo para las medidas o dimensiones (testigo).

- Tomar las huellas dactilares si es necesario, para comparar con la reseña policial y facilitar la identificación del finado.



Figura 8. Huella indubitada (1) y huella del cadáver (2)

- Examinar las ropas y relacionar desgarros o manchas hemáticas con las lesiones sobre la superficie corporal. Igualmente es necesario precisar las características individuales de las ropas de vestir (tipo, marca, manufactura, color, trama textil, modelo, etc.).
- Recontar las lesiones presentes, fotografiarlas desde mediana y próxima distancia, y describirlas una a una con la mayor claridad y precisión que sea posible.
- Recolectar las muestras de sangre para las pruebas de confrontación y otros exámenes pertinentes.
- Revisar detalladamente las cavidades naturales en el cadáver, las manos, las uñas y marcas probables de ayuda médica.
- Si existen restos de fauna cadavérica, se deben recoger por parte del entomólogo, quien determinará una aproximación a través de estos insectos de la data de la muerte. La naturaleza puebla inmediatamente un cadáver con una serie de organismos diversos, dedicados a reducir el cuerpo muerto a sus componentes básicos (Lee, 2002).
- Embalar e inventariar todas las pertenencias del fallecido y dejarlas a disposición de la autoridad judicial, para su reclamo final o análisis complementarios.
- Todas la evidencias físicas serán embaladas correctamente para su traslado hasta el laboratorio en perfecto orden e individualidad (seguir las instrucciones de la cadena de custodia).

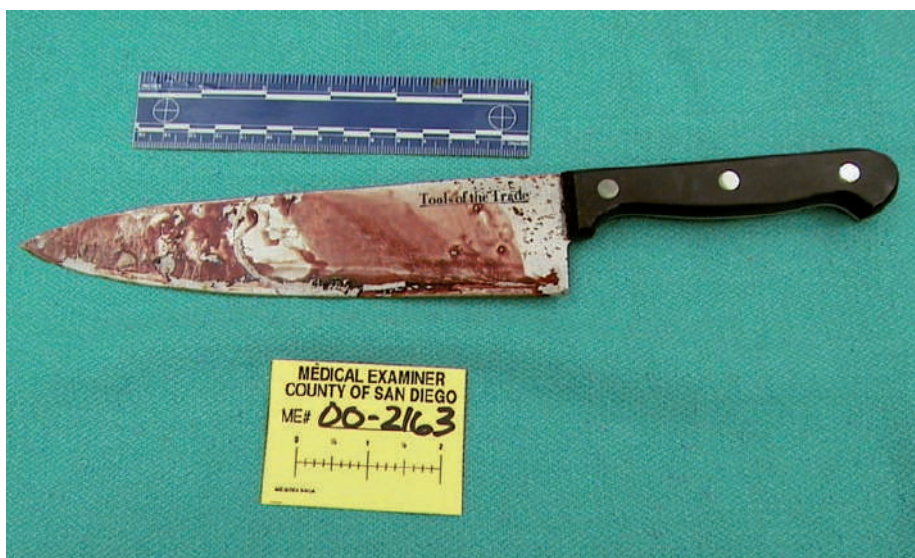


Figura 9. *Práctica de la autopsia médico-legal*

17

PATOLOGÍA FORENSE I. HERIDAS POR ARMAS DE FUEGO

Andrés Santiago Saez

*Jefe de la Unidad de Medicina Legal del Hospital
Clínico San Carlos de Madrid*



INTRODUCCIÓN

1. JUSTIFICACIÓN

El presente capítulo no pretende ser un tratado de balística (ciencia del movimiento de los proyectiles) o armamento, por ello nos centraremos en el estudio puramente médico de las heridas producidas por un arma de fuego, para que ello sirva de apoyo al grupo encargado de una investigación. Dentro de este grupo participan en España aquellos profesionales relacionados con los cuerpos de seguridad del Estado: Policía Judicial, Policía Científica y Servicio de Criminalística de la Guardia Civil.

2. DEFINICIONES Y CONCEPTOS

Se conocen como heridas o lesiones por armas de fuego aquellos efectos lesivos que producen sobre el organismo los disparos realizados con armas cargadas de diversos tipos de pólvora u otros explosivos. Las heridas por arma de fuego forman una categoría particular, lo que determina la intervención del médico forense como pieza fundamental en el grupo de investigación.

En el siglo XIX, Hofmann (Viena) ya distinguía en una herida por arma de fuego la abertura de entrada, el trayecto de la bala (que puede terminar en «fondo de saco») y la abertura de salida (Tardieu, 1883).

Según Simonin (1962), las heridas por arma de fuego deben considerarse como heridas contusas.



Figura 1. Armas de fuego utilizadas en la comisión de diferentes delitos. Museo de Antropología Médica y Forense, Paleopatología y Criminalística Profesor Reverte Coma

El arma se compone del instrumento de proyección (por ejemplo una pistola) y del proyectil (balas, perdigones, etc.).

Se denomina cartucho al elemento íntegro que contiene el objeto a propulsar (proyectil), la carga propulsora (pólvora) y la ignitora (fulminante) (Rajackowski, 1998).

Se denomina características de clase cuando se dispara una bala a través de un cañón estriado y el rayado provoca una serie de marcas en el proyectil (Di Maio, 2007). Éstas pueden indicar la fábrica y el modelo del arma de la cual haya salido el proyectil.

CLASIFICACIÓN DE LAS HERIDAS POR ARMA DE FUEGO

1. PENETRANTES O PERFORANTES

Es la clasificación fundamental:

1.1 Penetrantes

Cuando el proyectil entra en un objeto y no sale.

1.2 Perforantes

El proyectil pasa completamente a través de un objeto.

2. SEGÚN LA DISTANCIA DE DISPARO

Podemos definir 4 categorías conforme a la distancia de disparo:

2.1 Heridas por contacto

Conocidas como «a boca de jarro» o «a cañón tocante», en ellas el cuerpo toca directamente con la boca de fuego del arma, con mayor o menor presión o fuerza.

Los márgenes quedan ennegrecidos y ahumados por depósito de hollín (formado por carbón y metales vaporizados del fulminante, del proyectil y de la vaina). Si el ángulo de contacto no es completo entre la piel y el arma se produce, en la zona contraria a la del contacto del arma, una imagen en abanico con tatuaje de pólvora.

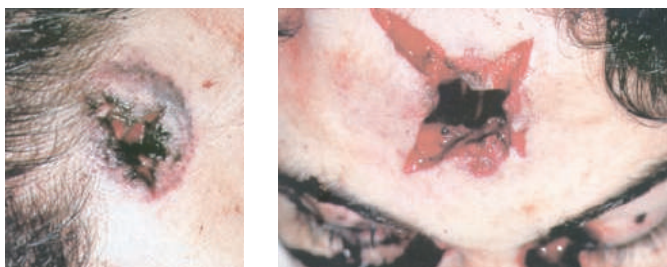


Figura 2. *Heridas por contacto*

Se realiza con la boca del arma en contacto con la piel. Se puede observar una imagen denominada «boca de mina», de aspecto estrellado. Se puede investigar carboxihemoglobina, azufre, nitratos de pólvora y nitritos.

2.2 Heridas por contacto cercano

También conocidas como «a quemarropa», porque la boca del arma se sitúa muy cercana a la piel sin contactar directamente con ella. Existe una herida de entrada, rodeada de una gran zona de polvo de hollín sobre la piel chamuscada. El hollín no puede ser limpiado completamente.

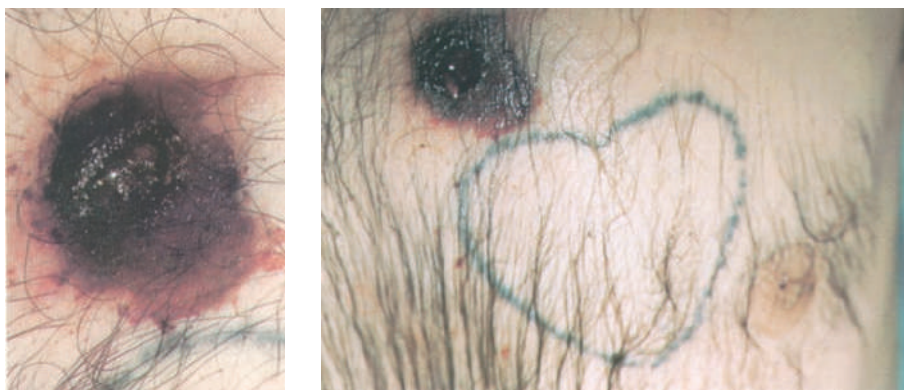


Figura 3. *Distancia no superior al alcance de la llama (se ve cintilla de contusión y un tatuaje denso y ennegrecido)*

2.3 Heridas por distancia intermedia

La distancia es suficiente para provocar un tatuaje de pólvora en la piel (fenómeno antemortem). Éste consiste en una serie de lesiones puntuales de color entre anaranjado y marrón alrededor del orificio de entrada y no son quemaduras de pólvora sino excoriaciones por lo que no se pueden borrar.

A medida que la distancia de disparo aumenta, el tamaño de la zona de ennegrecimiento por el polvo de hollín aumenta también, pero la densidad

disminuye. El patrón de la zona de hollín tendrá una morfología más circular cuando el ángulo de disparo sea de 90° y más excéntrico cuando el ángulo va aumentando.

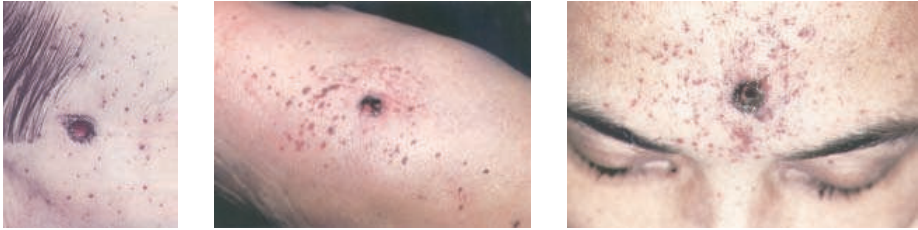


Figura 4. Disparos efectuados a una distancia inferior a los elementos integrantes del tatuaje (en armas antiguas 150 cm en armas antiguas y 60-70 cm en las actuales)

2.4 Heridas por disparo a distancia

Las únicas marcas objetivables son las producidas por la perforación de la piel tras el impacto del proyectil.



Figura 5. Disparos efectuados a más distancia de los elementos que constituyen el tatuaje

MORFOLOGÍA DE LAS HERIDAS POR ARMA DE FUEGO

1. HERIDAS DE BALA

Podemos distinguir la siguiente composición:

1. Herida de entrada: generalmente única aunque a veces puede ser múltiple.
2. Orificio: redondeado u oval.

3. Dimensiones: en general menores que el calibre de la bala, pero si el disparo es a corta distancia, el orificio es más grande que la bala por los efectos explosivos.
4. Tatuaje: formaciones resultantes del disparo. El tatuaje se subdivide en:
 - a) Cintilla de contusión.
 - b) Taraceado:
 - Quemadura de la llama.
 - Incrustaciones de granos de pólvora no quemados.
 - El depósito negro de humo.

Además se aprecian:

1. Una parte deletable constituida por el negro del humo y la incrustación de los granos de pólvora en la epidermis.
2. Una parte indeleble formada por granos de pólvora firmemente incrustados y quemadura de la llama.

2. HERIDAS DE BALA ATÍPICAS

1. Contusiones.
2. Erosiones o surcos.
3. En «fondo de saco».
4. En «boca de mina».

3. HERIDAS POR PROYECTILES DE ALTA VELOCIDAD

1. Orificio de entrada: suele ser de dimensiones normales respecto al tamaño del proyectil. En algunos casos de forma estrellada.
2. Trayecto: el conducto que produce aparece rodeado de una zona de necrosis o esfacelo y por fuera una infiltración hemorrágica. Puede ser único o múltiple.
3. Orificio de salida: cuando existe es de dimensiones bastante mayores que el orificio de entrada. A veces ocurre lo contrario.

4. HERIDAS POR PERDIGONES

1. A corta distancia, los perdigones forman un bloque a modo de bala.
2. A larga distancia, actúan individualmente y no suele haber orificio de salida, sino que se producen múltiples impactos con distribución heterogénea.

Hay más posibilidades de precisar tipos intermedios de distancia, aunque sin demasiada exactitud. Se recomienda realizar disparos de prueba para comprobar la diseminación de las cargas.



Figura 6. Disparo por escopeta de cañones recortados a corta distancia



Figura 7. Disparo con escopeta a unos 5 metros

En los primeros centímetros de la salida de los perdigones del cartucho, éstos forman un bloque que progresivamente se va diseminando, alcanzando con ello una distribución errática. Por ello, a mayor distancia, el perímetro lesional es mucho más amplio.



Figura 8. Donde se observa la apertura de los perdigones en su salida del arma

Para la adecuada localización de los restos de los proyectiles en el interior del cuerpo, la medicina forense se complementa con aquellas técnicas de imagen a su alcance. Entre ellas destacan los estudios radiográficos, la ecografía y la tomografía axial computerizada.



Figura 9. A través de pruebas de imagen se objetiva la distribución de los perdigones en la región de cadera y pelvis izquierda del lesionado

DETERMINAR SI EL ORIFICIO ES DE ENTRADA O DE SALIDA

1. HERIDA DE ENTRADA

La piel alrededor del orificio conforma un anillo de abrasión de color rojizo o marronaceo, por el mecanismo de roce del proyectil sobre la epidermis. Ya se comentó anteriormente que su imagen será más o menos circular dependiendo del ángulo que forme el proyectil y el plano de la piel.

En las heridas realizadas a corta distancia o por contacto sobre la piel predomina hollín alrededor del orificio de entrada.

En disparos a distancia intermedia el examen microscópico demostrará granos de pólvora en la piel adyacente al orificio de entrada.

2. HERIDA DE SALIDA

Suelen tener un aspecto más irregular y alargado y no poseen anillo de abrasión. El proyectil sufre deformaciones y modificaciones en su movimiento que deja de ser lineal, por ello el orificio de salida es de mayor tamaño.



Figura 10. El proyectil configura un orificio de entrada y otro de salida (derecha)

3. HERIDA ÚNICA

En algunas ocasiones el proyectil pierde su fuerza y velocidad y, al toparse con determinadas estructuras, adornos, una pared, material duro o una piel resistente y elástica, no se produce el orificio de salida. Incluso puede quedar la silueta del proyectil en el perfil de la piel.

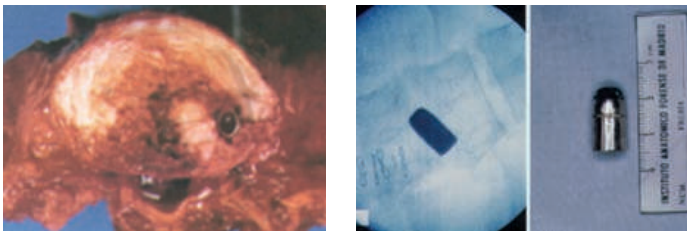


Figura 11. Imagen de un proyectil alojado en una vértebra de la columna

DIRECCIÓN DEL DISPARO

Debemos tener en cuenta:

1. Reparto de la incrustación de los granos de pólvora y depósito del humo. En la parte del tatuaje mas próxima al arma, los granos están mas apretados que en la opuesta.
2. La cintilla de contusión en los disparos perpendiculares tiene forma de anillo completo. En los oblicuos, forma de semiluna del lado por el que llega la bala. En la parte del tatuaje más cercana al arma, los granos de pólvora son mas densos.
3. Trayecto. Seguir el eje del trayecto antes de la primera desviación. A veces se producen modificaciones de la trayectoria por encontrar el proyectil objetos intermedios. También se pueden producir rebotes con trayectorias impredecibles.

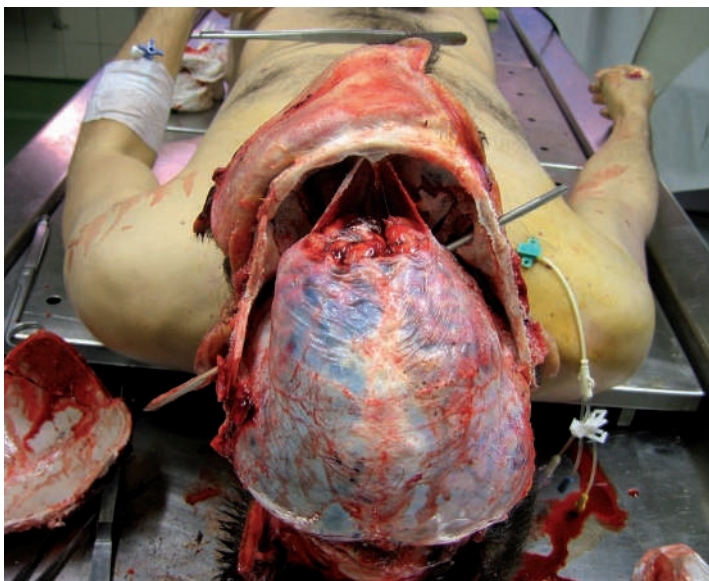


Figura 12. A través de un instrumento, se reproduce la trayectoria del proyectil causante de las lesiones

Materiales como el hueso del cuerpo humano determinan que los proyectiles ocasionen una fragmentación de éste. Estos fragmentos son inicialmente expulsados lateralmente y hacia delante (en la dirección del proyectil), provocando lesiones adicionales. En el hueso, el orificio de entrada crea una perforación redonda con bordes filosos y ,en el de salida, se genera un bisel.

En el cráneo, los orificios de entrada y de salida mantienen una estructura similar a la de los huesos planos.

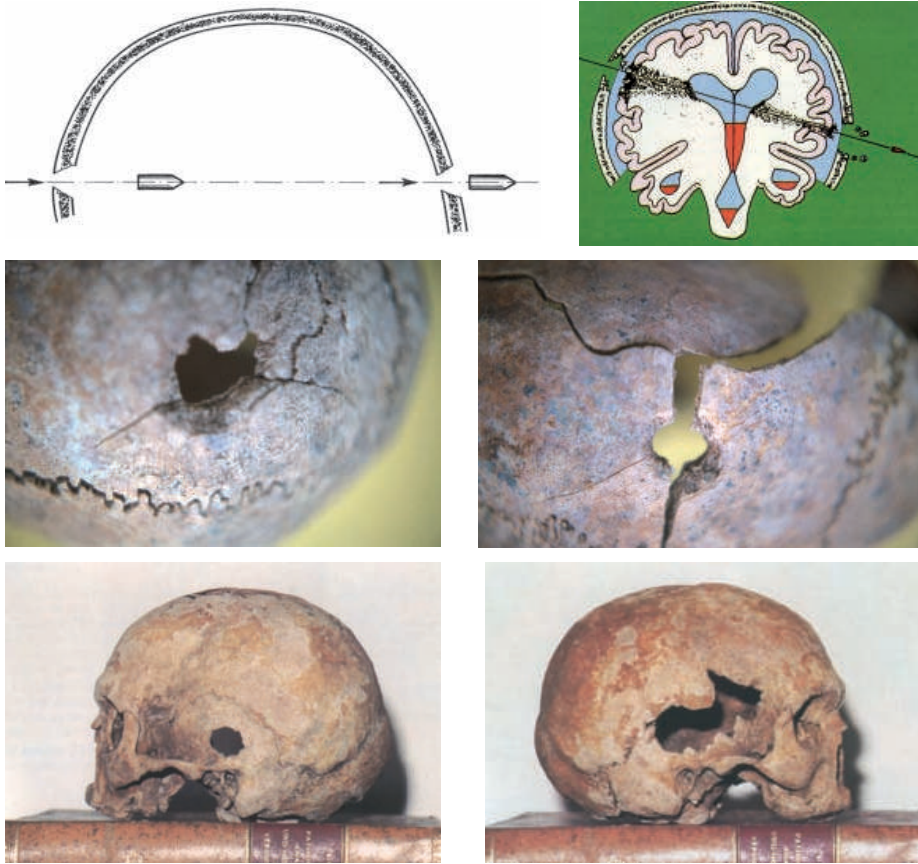


Figura 13. Orificios de entrada y de salida en la superficie craneal

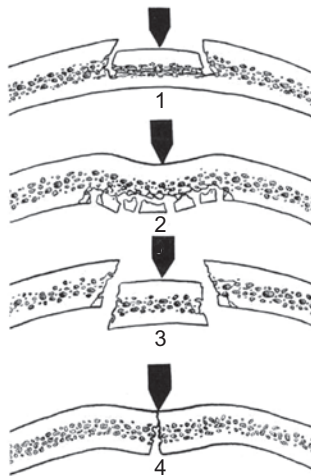


Figura 14. Esquema de las fuerzas y las diferentes posibilidades de fragmentación

PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

1. LUGAR DE LOS HECHOS

Se deben seguir las fases propias del levantamiento, con protección del lugar, inspección, observación cuidadosa y fijación de la escena antes de comenzar a manipular el entorno (Montiel, 1985). Se debe mover lo menos posible. No abrir las manos y no tomar huellas en el lugar de los hechos.

Hay que tener en cuenta:

1. En el lugar del hecho: desorden, huellas e impresiones sangrientas, suicidio ante espejo, ausencia del arma, notas escritas...
2. Examen del arma: armas de ocasión, disparos sin proyectil, examen del proyectil, etc.
3. Examen del cadáver: cada herida debe ser examinada, considerando su apariencia, ubicación y relaciones de éstas con otras marcas del cuerpo. Aspecto exterior y vestimenta, diferenciación de las lesiones vitales o postmortem, cronotanatognosis y necroidentificación (Aznar, 1952). Es importante la colocación de un testigo métrico en el estudio fotográfico. La herida se puede recortar para su estudio posterior con microscopio y técnicas químicas.

Además, determinar la identidad de un arma, así como sus proyectiles y disparos, forma parte de un proceso que efectivamente comienza en el lugar de los hechos y termina muchas veces en el laboratorio (Peña, 1939).

2. ETIOLOGÍA MÉDICO-LEGAL (SUICIDA, HOMICIDA O ACCIDENTAL)

2.1 Suicida

En países donde la obtención de un arma de fuego es sencilla, como en algunos estados de Estados Unidos, el modo para consumar el suicidio suele ser a través de este tipo de métodos. La mayoría de las heridas son producidas por contacto y un pequeño porcentaje por disparo a distancia intermedia.



Figura 15. La escena muestra como el suicida permanece en una posición clásica al tener que ayudarse de un objeto para alcanzar el gatillo

Sólo una cuarta parte de los suicidas dejan una nota explicativa, por lo tanto, el estudio de la morfología de la herida debe hacer sospechar la etiología suicida. El estudio de los restos de hollín en la piel del cadáver o laceraciones producidas por el gas de salida en la detonación ayudan a la confirmación.

2.2 Homicida

Determinados factores, como la existencia de señales de lucha, el estado de la ropa, la localización de las heridas y su número, la dirección del disparo o la distancia a la que se hizo, son los principales datos para completar una investigación bajo la sospecha de homicidio (Gisbert, 2004).



Figura 16. En la escena aparece un cuerpo y un arma, alrededor existen múltiples indicios con vainas de proyectiles

2.3 Accidental

Para determinar este tipo de etiología es imprescindible conocer las circunstancias que rodearon el acontecimiento: presencia de testigos, tipo de arma, resultados de la autopsia y de los estudios químicos y toxicológicos.

La descarga accidental de un arma se puede producir en múltiples circunstancias. Las más frecuentes son mientras se realiza la limpieza del arma, cuando ésta cae al suelo produciéndose la detonación, accidentes durante la práctica de una cacería, el juego por parte de niños o adolescentes, o durante determinadas actividades profesionales.

NUEVAS TECNOLOGÍAS

En los últimos tiempos han aparecido en el mercado determinadas armas singulares. Éstas producen lesiones esencialmente similares a las heridas que hemos visto en las líneas anteriores, aunque con algunas características propias.

1. TASER

Dispositivo utilizado por varios cuerpos de policía en España y que provoca una descarga de medio voltaje que consigue la inmovilización inmediata.

Desde el punto de vista médico-forense, las lesiones son típicas y se pueden identificar claramente. No provocan orificio de entrada y conservan una morfología con dos puntos equimóticos (en forma de hematomas contusos) separados por una distancia determinada.

Se han comunicado a la comunidad internacional algunos casos de muerte por alteración electropatológica del sistema de conducción cardíaco.

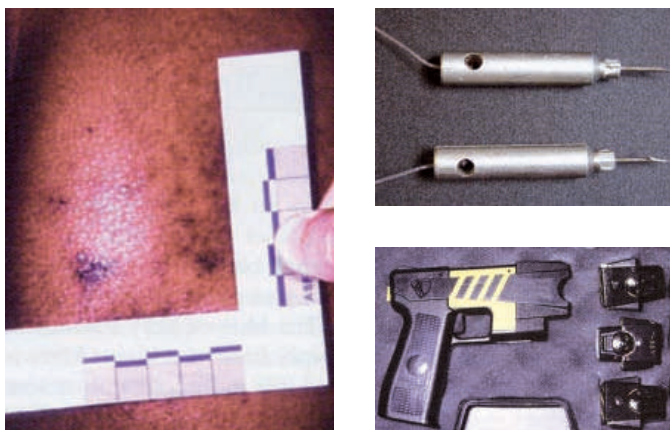


Figura 17. Imagen de las lesiones en la piel tras el disparo de un Taser

2. ARMAS DE MATERIALES NO METÁLICOS

Utilizan normalmente poca munición, suelen ser de fabricación casera, pero ocasionan daños irreparables cuando impactan en zonas vitales. Evitan la detección de los sistemas de protección con arcos de seguridad.

3. TELÉFONOS MÓVILES

El cargador se ubica en la batería. El teclado se usa a modo de gatillo. Utilizan proyectiles de pequeño calibre. Son pequeños y se ocultan con facilidad.

18

PATOLOGÍA FORENSE II. AHORCADURAS, ESTRANGULACIONES, SUMERSIONES Y SOFOCACIONES

Andrés Santiago Saez

*Jefe de la Unidad de Medicina Legal del Hospital
Clínico San Carlos de Madrid*





Figura 1. Maletín forense de principios del siglo XX. Museo de Antropología Médica y Forense, Paleopatología y Criminalística Profesor Reverte Coma

AHORACADURAS

1. DEFINICIÓN Y CONCEPTO

Puede definirse como la muerte producida por la constricción del cuello provocada por un lazo sujeto a un punto fijo, sobre el cual ejerce tracción el propio peso del cuerpo (Gisbert, 2004).



Figura 2. Ahorcadura

2. TIPOS DE AHORCADURA

Las vamos a clasificar teniendo en cuenta dos elementos, por un lado la posición del cuerpo y, por otro, el nudo realizado para fijar la cuerda u objeto a modo de lazo. Esta es la clasificación más extendida y aceptada por los investigadores.

1. Ahorcadura completa
2. Ahorcadura incompleta
3. Ahorcadura simétrica
4. Ahorcadura asimétrica

2.1 Ahorcadura completa

El cuerpo está suspendido sin que ninguna parte de éste toque con superficie alguna, queda por lo tanto colgando.

2.2 Ahorcadura incompleta

A diferencia del supuesto anterior, el cuerpo tiene algún punto de apoyo, ya sea una superficie como el suelo, una silla, etc.



Figura 3. La parte inferior del cuerpo se apoya en el suelo

2.3 Ahorcadura simétrica

La característica principal es que el nudo del lazo se encuentra en una posición central, ya sea la nuca (la más típica) o la región inferior del mentón.

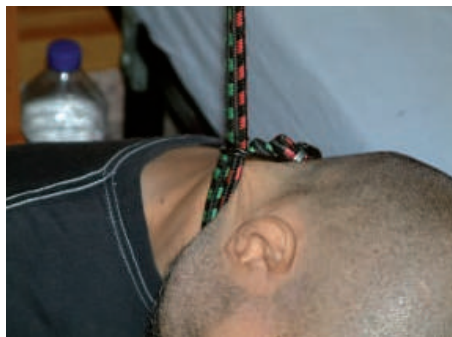


Figura 4. El lazo tiene el punto de fijación en la nuca

2.4 Ahorcadura asimétrica

En este caso, el nudo o punto de fijación se encuentra en cualquier otro lugar diferente al del supuesto anterior, por ejemplo debajo del pabellón auricular.

3. ETIOLOGÍA DE LA AHORCADURA

Desde el punto de vista forense, es interesante una clasificación en 4 grandes apartados:

1. Ahorcadura suicida
2. Ahorcadura accidental
3. Ahorcadura homicida
4. Ahorcadura judicial

3.1 Ahorcadura suicida

Es una de las más frecuentes, concretamente en España, típicamente del ámbito rural y de los varones.



Figura 5. *Ahorcamiento suicida*

3.2 Ahorcadura accidental

Plantea problemas de diagnóstico diferencial con la intención suicida. Determinadas prácticas sexuales, en las que se obtiene cierto placer con la suspensión con un lazo, puede ocasionar pérdida de conocimiento prematura con el consiguiente riesgo de muerte sin pretenderlo.

3.3 Ahorcadura homicida

Exige una gran fuerza por parte del agresor, una amplia desproporción física o que se realice por un grupo (clásico en los linchamientos). Es infrecuente, aunque no debe olvidarse esta etiología en la investigación.

3.4 Ahorcadura judicial

En España actualmente no existe la pena de muerte, sin embargo el ahorcamiento sigue practicándose en determinados países. En este caso se realiza por orden de la autoridad judicial.

4. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL MECANISMO DE LA MUERTE

La consecuencia de la compresión de las estructuras del cuello es el desarrollo de una serie de acontecimientos fisiopatológicos que, como último eslabón, suponen la muerte del afectado.

Fundamentalmente detectamos 4 alteraciones orgánicas:

1. Anoxia anóxica
2. Anoxia encefálica
3. Inhibición refleja
4. Lesión medular

4.1 Anoxia anóxica

El lazo ocasiona la compresión de la parte superior del aparato respiratorio y de sus estructuras anatómicas. La lengua y el hioides caen hacia atrás obstruyendo la entrada de aire.

4.2 Anoxia encefálica

Lo que ocasiona el lazo es la compresión del paquete vascular que transcurre por el cuello (en concreto, venas yugulares y arterias carótidas). Según Simonin (1962), una presión de 3,5 kg basta para comprimir las arterias carótidas. Conforme aumente el tiempo de la compresión, se producirán lesiones isquémicas que terminarán con la muerte, hay que tener en cuenta que en 8-10 minutos se perderá el conocimiento.

4.3 Inhibición refleja

Existen en el cuello regiones anatómicas (como el seno carotídeo) muy sensibles a su estímulo. Este estímulo genera otro a nivel cardíaco, ocasionando su parada.

4.4 Lesión medular

Una lesión a nivel vertebral puede lesionar de forma irreversible la médula y ocasionar la muerte. Una caída libre o accidental durante el ahorcamiento puede desplazar una o varias vértebras y éstas inducir estiramientos, aplastamientos o secciones medulares.

5. LESIONES TRAUMÁTICAS

Tanto los planos superficiales como los profundos de los tejidos del cuello sufren presiones y tracciones.

5.1 Superficiales

En la superficie se observa una huella de la ligadura o el lazo, situado por encima de la laringe. Podemos distinguir un surco hondo, apergaminado (por la desecación de la dermis postmortem) y blanquecino (denominada línea argéntica), producido por una soga o cuerda estrecha o rugosa. Otras veces observamos un surco ancho, suave, extenso y de bordes imprecisos cuando el lazo es un pañuelo o tela. El surco es único, oblicuo, incompletamente circular y más profundo en el centro del asa. Encima del surco del ahorcamiento a veces aparece una zona violácea, por hipóstasis sanguínea, que no es vital.

5.2 Profundas

Las lesiones profundas del cuello se concretan en lo siguiente:

- Equimosis en tejido celular subcutáneo, músculos, laringe y retrofaringe.
- Desgarros musculares.
- Lesiones carotídeas.
- Fractura de las astas del hueso hioides, del cartílago tiroides o luxación de los cartílagos aritenoides.
- Lesiones en vértebras (luxaciones, fracturas, etc.). Son típicas de los ahorcamientos judiciales.



Figura 6. Línea argéntica

El final del estudio debe concretar la causa de la muerte, buscando los signos vitales de la ahorcadura y excluyendo otra causa de muerte violenta, mecánica o tóxica. Como ya se comentó anteriormente, la etiología más frecuente es la suicida.

ESTRANGULACIONES

1. DEFINICIÓN Y CONCEPTO

Puede definirse como la constricción del cuello mediante la aplicación de una fuerza activa que actúa por medio de un lazo, las manos, el antebrazo o cualquier otra estructura rígida (Montiel, 1985).

Es una forma médico-legal de asfixia mecánica muy importante, ya que su origen es habitualmente criminal.

2. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRANGULACIONES

Prácticamente todos los autores nacionales, como Gisbert y Casas, e internacionales, como Simonin, aceptan dos grandes grupos en relación al mecanismo de producción.

1. Estrangulación a lazo o ligadura
2. Estrangulación a mano o brazo

A continuación se explican ambos mecanismos:

2.1 Estrangulación a lazo o ligadura

La constricción del cuello se efectúa por medio de un lazo, que es apretado por un procedimiento diferente al del peso corporal. Se puede utilizar cualquier tipo de material, como una corbata, una cuerda, un cinturón, etc.

1. En relación a la etiología se puede seguir el mismo método que para la ahorcadura:
 - a) Homicida: la más habitual y de carácter criminal.
 - b) Suicida: bastante rara. Implica algún método complejo que permita mantener la presión tras la pérdida de conciencia.
 - c) Accidental: tampoco es frecuente; más típico en la edad infantil y en relación a una situación de juego.
 - d) Ejecución: en España se realizó por orden de la autoridad judicial hasta 1978, en forma de garrote.
2. En relación al mecanismo de la muerte se han descrito los siguientes:
 - a) Compresión de las vías aéreas: las estructuras del cuello (laringe y tráquea) se comprimen, bloqueando el paso del aire. Algunos autores estiman en 15 kg la fuerza necesaria para que se produzca la obstrucción.

- b) Oclusión de los grandes vasos del cuello: venas yugulares y arterias carótidas. Entre 2-3,5 kg son suficientes para interrumpir el flujo venoso de retorno, provocando congestión, cianosis, edema y petequias. La compresión arterial simultánea de ambos lados del cuello provocará la pérdida de conciencia en poco tiempo y la muerte por isquemia.
 - c) Inhibición neurógena: a nivel carotídeo existen unos receptores (baroreceptores) que si son presionados pueden inducir un lentificamiento del corazón o incluso su parada.
3. Respecto a las lesiones anatomopatológicas:
- a) Del examen externo interesa el estudio del surco de estrangulación:
 - Dirección: generalmente horizontal.
 - Profundidad: uniforme, marcada en todo el contorno.
 - Continuidad: rodea completamente el cuello.
 - Situación: a nivel o debajo del tiroides.
 - Número: a menudo múltiple.
 - Aspecto del fondo: casi siempre blando.
 - b) En el examen interno se aprecia:
 - Infiltración hemorrágica: si la muerte asfíctica es lenta, aparecen abundantes petequias en diferentes lugares (Montiel, 1985).
 - Ruptura óseo-cartilaginosa.
 - No se encuentran ni línea argéntica ni rupturas en la íntima vascular.



Figura 7. *Infiltración hemorrágica*

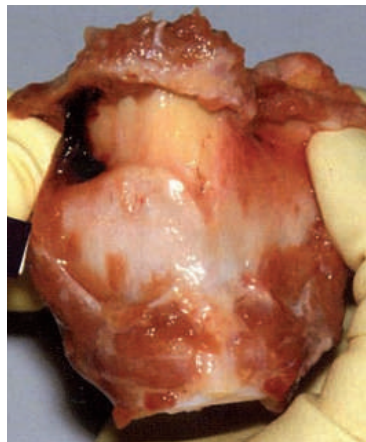


Figura 8. *Ruptura óseo-cartilaginosa*

2.2 Estrangulación a mano o brazo

La estrangulación es provocada por la mano, el brazo o el antebrazo que aprieta el cuello, ejerciendo una compresión, ya sea central o lateral.

1. Respecto a la etiología: es siempre homicida, aunque determinadas compresiones accidentales pueden provocar la muerte (extremadamente raras).
2. En relación al mecanismo de la muerte: el mismo que el de la estrangulación a lazo.
3. Respecto a las lesiones anatomopatológicas:
 - a) En el examen externo se observa:
 - Equimosis pequeñas y redondeadas producidas por el pulpejo de los dedos y excoriaciones producidas por las uñas, conocidas como estigmas ungueales. Son mucho más visibles a las 24 horas del fallecimiento, a causa de la desecación de la dermis.
 - Es frecuente encontrar lesiones contusas en otras zonas corporales.



Figura 9. Excoriaciones

- b) En el examen interno se aprecia:
 - Lesiones cervicales, como hematomas en la piel, los músculos, las glándula tiroides e incluso en la base de la lengua.
 - Lesiones óseo-cartilaginosas, en los hueso hioides y en los cartílagos laríngeos. El interior de la laringe puede mostrar hemorragias mucosas.
 - Lesiones en las arterias del cuello, fundamentalmente carótidas.

3. FALSA ESTRANGULACIÓN

Existen algunas maniobras violentas que inducen en el cuello la puesta en marcha del mecanismo de inhibición anteriormente comentado, típico en el golpe con el borde de la mano sobre la cara lateral del cuello. En estos casos existen pocas huellas exteriores, aunque se pueden apreciar fracturas con infiltración sanguínea del hueso hioides, del cartílago tiroides y del cricoides.

SUMERSIONES

1. DEFINICIÓN Y CONCEPTO

Se puede definir como la muerte o el trastorno patológico producido por la introducción de un medio líquido o semilíquido en las vías respiratorias (Casas, 2000). También se produce cuando se deja de respirar bajo el agua.

Se habla de sumersión primaria si la muerte sucede al incidente y de secundaria si el trastorno patológico es el responsable de la muerte un tiempo después.

El concepto de sumersión completa hace referencia a que todos los orificios naturales están inmersos en el líquido. El de sumersión incompleta, cuando el líquido no cubre totalmente el cuerpo.

2. ETIOLOGÍA DE LAS SUMERIONES

2.1 *Accidental*

La causa más frecuente en nuestro medio y con un predominio en los meses de verano.

2.2 *Suicida*

La segunda causa en frecuencia. Es empleada preferentemente por los hombres.

2.3 *Homicida*

Excepcional. Se suele producir en dos tiempos, es decir, primero se golpea a la víctima para dejarla inconsciente y después se le arroja al medio líquido.



Figura 10. Sumersión accidental de un buzo

3. FISIOPATOLOGÍA Y MECANISMO DE LA MUERTE

Se desarrollan una serie de fases de forma secuencial y en corto intervalo de tiempo: contacto con el medio líquido de forma sorpresiva, a continuación se respira profundamente con un periodo corto (50 segundos) de apnea voluntaria, después se produce una disnea expiratoria refleja de origen central laríngea, a continuación se pierde el conocimiento y el líquido invade las vías respiratorias. En este punto comienzan a aparecer una serie de convulsiones generalizadas con una apnea agónica, que termina con una gran inspiración final. Hay que tener en cuenta que el corazón puede seguir latiendo durante 2-3 minutos.

¿Qué alteraciones electrolíticas se producen?

- En agua dulce se produce una hipervolemia y la consiguiente hemólisis, con elevación de los niveles plasmáticos de potasio y descenso de sodio. Esta descompensación facilita la arritmia cardíaca con el desarrollo de una fibrilación ventricular.
- En agua salada se produce un edema pulmonar, con elevación de los niveles de sodio y elevación del hematocrito. Este aumento de la viscosidad sanguínea y la anoxia producen un fallo cardíaco también de consecuencias nefastas.

4. LESIONES ANATOMOPATOLÓGICAS

4.1 Examen externo

- Livideces cadavéricas que son de un tono más claro.
- Cutis anserina.
- Maceración cutánea.
- Hongo de espuma, formado por pequeñas burbujas iguales entre sí de color blanco o rosado, que se generan en las ramificaciones bronquiales y aparecen tras algunas horas en los orificios respiratorios (nariz y boca) como una pequeña masa.
- Lesiones contusas postmortales.

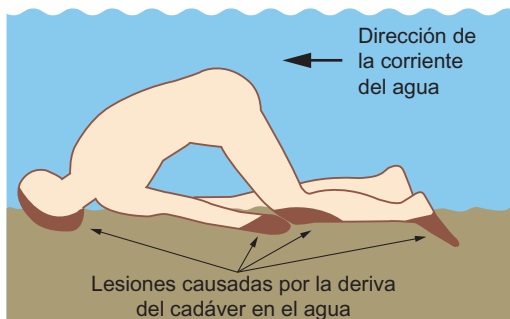


Figura 11. Lesiones cutáneas contusas



Figura 12. Maceración



Figura 13. Hongo de espuma

4.2 Examen interno

- Espuma traqueobronquial.
- A veces aparecen cuerpos extraños, como arena o restos alimenticios.
- Pulmones aumentados de volumen y manchas de Paltauf (de localización subpleural y equimóticas, pálidas o azuladas).
- Espasmo laríngeo.
- Hemorragia en oído medio y celdas mastoideas.

5. EXÁMENES COMPLEMENTARIOS

5.1 Examen radiológico

Útil para el estudio craneal y torácico, con él se puede comprobar la opacidad de los senos paranasales.

5.2 Exámenes microscópicos

Adelgazamiento y ruptura de los septos alveolares. Presencia de cuerpos extraños intraalveolares y de marcadores biológicos, como determinados protozoos y diatomeas.

5.3 Exámenes bioquímicos

- Determinación de cloruros.
- Estroncio y flúor sérico.
- Péptido natriurético auricular.

5.4 Exámenes químicos

- Contaminantes químicos eventuales del lugar de sumersión.
- Alcohol etílico: la intoxicación etílica puede favorecer una caída accidental dentro del agua y la pérdida de reflejos para mantenerse a flote o nadar hasta la orilla. La sangre del cadáver para este tipo de análisis debe extraerse de la vena femoral o de grandes vasos (Rajczkowski, 1998).

SOFOCACIONES

1. DEFINICIÓN Y CONCEPTO

La obstrucción de los orificios respiratorios externos o incluso de estructuras internas produce el cierre del paso del aire al tracto respiratorio.

2. MECANISMOS DE LA MUERTE

Teniendo en cuenta el concepto anterior, la sofocación se puede producir por:

- a) Objetos que presionan la nariz y la boca (como una almohada) o presión de la cabeza en decúbito prono.
- b) Sofocación durante el «colecto» (cuando un adulto duerme en la misma cama que un niño pequeño).
- c) Colocación de una bolsa de plástico en la cabeza u otro objeto impermeable.
- d) Amordazamiento de la víctima con cinta adhesiva u otro material alrededor de la cara.
- e) Cuerpos extraños impactados en todo el aparato respiratorio, entre la faringe y los bronquios.
- f) Compresión torácica externa, que impide la expansión de los pulmones y la movilidad del diafragma. En realidad constituye una asfixia traumática.



Figura 14. Bolsa sobre la cabeza (etiología criminal)

3. ETIOLOGÍA DE LAS SOFOCACIONES

3.1 *Accidental*

La etiología accidental es la más frecuente. Sobre todo en la infancia, donde es frecuente la ingesta de pequeños objetos que pueden impactar en las vías respiratorias o rodearse la cabeza con materiales impermeables al aire.

3.2 *Homicida*

La etiología homicida es menos frecuente, aunque en determinados países se utilizan patrones estereotipados de índole criminal que incluyen mecanismos de sofocación cruentos.

3.3 *Suicida*

La etiología suicida es excepcional y se han documentado pocos casos.



Figura 15. *Etiología suicida con bolsa de plástico alrededor de la cabeza*

4. ESTUDIO ANATOMOPATOLÓGICO

4.1 *Examen externo*

- Buscar equimosis redondeadas o excoriaciones en la zona buconasal, propias de sofocaciones de origen homicida. Este mecanismo se aprecia en los grupos de población más débiles, como los niños muy pequeños y los ancianos
- Buscar signos a distancia de la región facial, como signos de defensa o de lucha en los miembros o en el tronco.

- c) Ya en la diligencia del levantamiento, se debe ser extremadamente cuidadoso para no dejar pasar aquellos vestigios o indicios de una posible etiología homicida o accidental. Como indica Rougmagnac: «no hay malhechor que no deje detrás de él alguna huella aprovechable» (González, 1999).

4.2 Examen interno

- a) Aparecen los signos normales de asfixia, similares a otros mecanismos como el ahorcamiento o la estrangulación.
- b) En las sofocaciones intrínsecas por cuerpos extraños se hace evidente éste en el trayecto respiratorio. Recientemente hemos presenciado un examen de autopsia del que se extrajo un hueso de mango de enormes dimensiones impactado en la laringe de un joven de 27 años, al que le gustaba recrearse chupando el hueso tras el consumo de la pieza de fruta.

El diagnóstico diferencial se plantea con el síndrome de muerte súbita, la aspiración de vómito (que suele ser de tipo agónico) y la caída de la lengua hacia atrás en determinados procesos mórbidos o el sepultamiento.



Figura 16. Carta de despedida de un fallecido por sofocación suicida



19

INVESTIGACIÓN DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO

César Borobia Fernández

*Director de la Escuela de Medicina del Trabajo.
Universidad Complutense de Madrid*

Alexis David Díaz Martínez

Licenciado en Medicina y Cirugía

Alicia Fernández Pérez

Médico especialista en Medicina Legal y Forense

Laura García Minguito

Médico especialista en Medicina de Familia

Victoria Uroz Martínez

*Profesora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria.
Sección Toxicología Forense. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid*



CONCEPTOS GENERALES Y EPIDEMIOLOGÍA DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO

Los accidentes de tráfico se pueden derivar de cualquier medio de locomoción y por tanto pueden ser terrestres, aéreos y acuáticos; estos últimos a su vez pueden ser marítimos, fluviales o lacustres. Con diferencia, los accidentes derivados del medio terrestre son los más frecuentes, pudiendo dividirse a su vez en los derivados de medios de transporte de trayecto fijo (como ocurre con el tren, el metropolitano y el trolebús) y los de trayecto no fijo (el automóvil, el camión y asimilados y la moto). En este capítulo sólo se estudiarán los accidentes de vehículos a motor de trayecto no fijo, indicando que si bien los de trayecto fijo y los aéreos y marítimos son menos frecuentes, sus resultados lesivos son, en general, mucho más graves.

Se calcula, en base a los datos que publica la Dirección General de Tráfico (DGT), que existen unos 250.000 accidentes de tráfico terrestre al año que dan lugar a 280.000 víctimas con lesiones permanentes. Estima, asimismo, que el número de fallecidos es del 5%, el de heridos graves es del 30% y el de heridos leves es del 65%. Otro dato interesante es el relacionado con la edad de la víctima, estimada entre los 20-29 años, es decir, se trata de personas con poca o con relativa experiencia en el tema de la conducción.

Siguiendo con los datos que aporta la Dirección General, en España, el número de víctimas en carreteras en el año 2008 fue de 2.181 fallecidos, lo que supone una media aproximada de 6 muertes al día. El número de heridos graves fue de 866. Analizando la situación de los fallecidos se observa que 204 fueron peatones, es decir, aproximadamente el 10%. Los días de la semana en los que se ocasiona un mayor número de siniestros, tal como se puede pensar, son los correspondientes a los fines de semana, los puentes festivos y los meses de verano; de este modo, en el año 2008, el número de fallecidos en el fin de semana (sábado y domingo) fue de 947 (43,4%) frente a 1.234 (de lunes a viernes), lo que hace un 56,6%, es decir, en 2 días se registran un poco menos que en los otros 5 días de la semana.

ETIOLOGÍA DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO Y MECANISMOS DE PRODUCCIÓN

1. ETIOLOGÍA DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO

En los accidentes de tráfico terrestres no fijo se pueden estudiar los siguientes factores causales:

1. Factor humano

Se considera que el factor humano es la causa del mayor porcentaje de accidentes de tráfico, pudiendo estimarse que representan más de las 3/4

de los mismos. Los elementos, a su vez, que se deben considerar como causantes de los accidentes son:

- a) El conducir bajo los efectos del alcohol, de ciertos fármacos y de sustancias estupefacientes.
- b) Las maniobras imprudentes y de omisión del conductor y el incumplimiento por parte de los peatones de las normas más elementales.

2. Factor mecánico

Los vehículos en condiciones no adecuadas para la circulación son también causa de accidente; relacionado a su vez con el mantenimiento inadecuado del vehículo.

3. Factor climatológico

Los más frecuentes son la lluvia, el hielo y la niebla. Más raramente el viento u otros fenómenos meteorológicos.

4. Factores de la calzada

Pueden dar lugar a accidentes un firme en mal estado, una carretera mal señalizada, elementos extraños que impidan la adherencia de los neumáticos, peraltes y curvas mal diseñadas, excesiva o deficiente señalización y otras.

2. MECANISMOS DE PRODUCCIÓN DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO

Los mecanismos de producción de los accidentes de tráfico terrestre son muy variados; clásicamente se han dividido en: colisiones entre vehículos, choques con obstáculos (vehículos aparcados, árboles y postes, etc.), atropellos, vuelcos e incendios. A éstos se debe incluir las salidas de las vías, dada la importancia en la causa de mortalidad: es el mecanismo de producción que mayor mortalidad genera y fue responsable de más del 40% de los accidentes mortales del año 2008.

Los más frecuentes en el año 2008 (según fuentes de la DGT) son las colisiones frontales (1.219 casos) y las salidas de la vía (890 casos). Les siguen en frecuencia los atropellos.

Por otro lado, las colisiones, a su vez pueden dividirse en:

- a) Colisiones frontales. Es el tipo más frecuente (80% de los impactos de vehículos). Algunos autores incluyen en este tipo de colisión el choque con obstáculos, aunque parece mejor dejarlos separados, es decir, mantener la situación de choque con obstáculos fuera de la subclasificación de las colisiones.
- b) Colisiones por impacto lateral.
- c) Colisiones con vuelco. En las que igualmente se mezclan dos situaciones diferentes, la de la colisión y el posterior vuelco, que ocasionan lesiones distintas. En estos casos, es importante recordar que los ocupantes de

los vehículos pueden salir despedidos del mismo con los consiguientes problemas que médico-legalmente puedan generarse, entre otros el de determinar quién era el conductor del vehículo.

- d) Colisiones por alcance o colisiones posteriores. El impacto es reducido o absorbido en cierto grado por el maletero o por el compartimiento de los asientos posteriores, por lo que el pasajero puede sufrir menos daños.

TIPOS DE LESIONES

En este apartado se describirán sucintamente el tipo de lesiones que tiene lugar en los ocupantes de los vehículos y en los peatones, en aquellos accidentes cuyo modo de producción sean las colisiones, los vuelcos y los atropellos.

1. COLISIONES

Una colisión es el encuentro entre 2 o más vehículos en movimiento en situaciones en las que no estuviera previsto que se encontraran. Pueden clasificarse, según el lugar del encuentro, en:

- a) Frontales, cuando el encuentro se produce entre los elementos delanteros de los vehículos. La más frecuente es la central.
- b) Por embestida, cuando el encuentro se produce entre la parte delantera del vehículo con el lado lateral del otro. Pueden ser, a su vez, perpendiculares y angulares.
- c) Por alcance, cuando el encuentro se produce entre la parte anterior de un vehículo con la posterior del otro.

1.1 Lesiones directas, indirectas y mixtas

Las lesiones que se pueden producir en las colisiones dependerán del mecanismo de producción, sin embargo, en general, se admite que existen lesiones directas, indirectas y mixtas.

- a) Las lesiones directas son las ocasionadas directamente por el traumatismo sobre el cuerpo: equimosis, contusiones, heridas contusas, fracturas y lesiones complejas.
- b) Las lesiones indirectas se ocasionan en los movimientos de aceleración y desaceleración, lo que provoca, a su vez, movimientos no previstos e incontrolados en las vísceras. Pueden dar lugar a desgarros viscerales, a cizallamiento de pedículos vasculares, a contusiones encefálicas y otras. Es de destacar, en este apartado, por su alta frecuencia, el esguince cervical ocasionado en los alcances posteriores, el cual daría lugar, en su desarrollo, a un capítulo de este libro.
- c) Las lesiones mixtas, mezcla de los dos mecanismos anteriores, son relativamente frecuentes.

1.2 Lesiones según el tipo de colisión

- a) En común, en los 3 tipos de colisiones se pueden encontrar:
- Traumatismo craneoencefálico, con o sin fractura craneal. Suelen ser frecuentes la conmoción cerebral, la contusión cerebral, la hemorragia cerebral y la lesión axonal difusa.
 - Traumatismo cervical, por contusión con el reposa-cabezas o con el propio asiento; lesión que debe diferenciarse del latigazo cervical, más frecuente en las colisiones por alcance.
 - Lesiones raquídeas y medulares, cuadros generalmente graves, en colisiones de gran energía, en los que la actuación sanitaria urgente es importante.
 - Traumatismo torácico, con o sin fracturas costales. La complicación más frecuente es la aparición de una neumonía.
 - Traumatismo abdominal, bien por mecanismo directo o indirecto. Los directos están relacionados con el contacto del abdomen con el salpicadero o estructuras vecinas, lo que implica la no aplicación del cinturón de seguridad, la rotura del mismo o la no activación de los airbags. En los indirectos se necesita una importante energía y sus consecuencias suelen ser la desinserción y desgarros viscerales.
 - Diversas lesiones en miembros, desde pequeñas heridas contusas hasta fracturas conminutas.
- b) Las lesiones que pueden encontrarse según el tipo particular de colisión serían las siguientes:
- En las colisiones frontales se originan las lesiones más graves. Hasta la utilización obligatoria del cinturón de seguridad, las lesiones eran importantes y estaban acompañadas, en bastantes ocasiones, del fallecimiento de los lesionados. En la actualidad la mayor concienciación de la utilización de este dispositivo de seguridad ha mejorado sustancialmente el resultado de los accidentes de tráfico con una disminución del número y de la importancia de las lesiones que padecen los ocupantes de los vehículos. Es muy difícil encontrar heridas cortantes en la cara y fracturas de esternón y de casi toda la parrilla costal, lesiones frecuentes en los vehículos antiguos en los que el acceso a la luna delantera era posible; en los coches actuales, es necesario una gran energía para que la cabeza del conductor o de su acompañante pueda llegar a esta parte del vehículo y, si lleva puesto el cinturón de seguridad o se activan los airbags, estas lesiones se tornan imposibles. Sin embargo, no se debe olvidar que la energía desarrollada en una colisión puede dar lugar a que las lesiones las provoque el propio cinturón de seguridad o los airbags, lesiones que son menos importantes a las que hubieran existido sin estos mecanismos de seguridad.

- En las colisiones posteriores lo más frecuente es el síndrome del latigazo cervical, no exento de una posible gravedad. Se encuentra muy popularizado, ya que es una fuente de reclamación indemnizatoria y cuyo diagnóstico puede ser difícil.
- En los impactos laterales se pueden encontrar fracturas claviculares y costales, así como contusión torácica. A éstas pueden añadirse otras fracturas que se encuentran en otro tipos de traumatismos (fractura de pelvis, de tibia, de peroné, de húmero...).

2. VUELCOS

En los accidentes con vuelco existe un mayor riesgo de fallecimiento y de secuelas graves. Este tipo de accidente está en relación con la energía cinética generada por la velocidad del vehículo y por la masa del mismo, siendo esta última más notable cuando se trata de camiones o asimilados. Otros elementos a tener en cuenta es el número de giros del vehículo y el ángulo de los mismos. A todo lo anterior hay que añadir el daño del vehículo y la deformidad del mismo. Nuevamente, cobra importancia en este tipo de accidente las medidas de seguridad, de modo que la lesionología de los ocupantes puede verse atenuada con el cinturón de seguridad y, por tanto, la dificultad del desplazamiento de los mismos en los desplazamientos anormales de los vehículos.

En este tipo de accidente la energía se disipa en un tiempo más o menos prolongado. Las lesiones se derivan del primer impacto y del que se genera en el vuelco, siendo en este último violentas y derivadas de la proyección de los cuerpos contra las distintas partes del vehículo. El primer contacto suele ser el de la cabeza contra el techo, produciéndose fuerzas de compresión e inclinación a nivel del cuello que pueden provocar fracturas o luxaciones vertebrales. Cuando existe expulsión o despedido fuera del vehículo las lesiones estarán en relación con los objetos que el cuerpo encuentre en su trayectoria, agravando o no las mismas.

2.1 Lesiones craneoencefálicas

Se pueden encontrar: fracturas de bóveda y de base de cráneo, contusiones encefálicas, hemorragias meníngeas y hemorragias encefálicas. Las contusiones cerebrales y las hemorragias subdurales pueden producirse aún en ausencia de fracturas craneales.

2.2 Lesiones raquídeo-medulares

Las plejias (tetraplejía, hemiplejía y paraplejía) son las lesiones más temidas en los accidentes de tráfico, aunque afortunadamente son las menos frecuentes.

Son lesiones más frecuentes las luxaciones y las fracturas vertebrales acompañadas o no de lesiones medulares. Cuando estas últimas existen, el cuadro neurológico puede ser variado, como la sección transversal de la médula, cuadro éste de importante gravedad y de probable mal pronóstico.

2.3 Lesiones torácicas

Pueden estar afectadas tanto la parte ósea como la visceral. En la primera se incluye: la fractura del esternón y las fracturas costales (cuando están afectados varios arcos costales de ambos lados, puede dar lugar a un *volet* costal). Las fracturas vertebrales se incluyen en las lesiones raquídeas.

En las lesiones viscerales se incluyen: el hemotórax, el neumotórax, las laceraciones y heridas pulmonares (ocasionadas frecuentemente por los arcos costales fracturados) y la contusión pulmonar. Se incluyen también las lesiones cardíacas y de los grandes vasos (menos frecuentes), el hemopericardio, el desgarramiento cardíaco y la rotura de la aorta.

Las lesiones de tráquea y bronquios son excepcionales.

2.4 Lesiones de órganos abdominales

Pueden verse afectados los órganos macizos (hígado, bazo, riñones y páncreas) y el mesenterio. Con menos frecuencia se ven afectados los órganos huecos (estómago e intestino), los cuales suelen presentar laceraciones, contusiones y desgarramientos, dando lugar a su vez a hemorragias y, por tanto, a la aparición de un hemoperitoneo.

2.5 Lesiones pélvicas

Son frecuentes las fracturas y las luxaciones pélvicas. Son menos frecuentes las lesiones de los órganos de la cavidad (vejiga, útero y ovarios).

2.6 Lesiones de las extremidades

Son las partes del cuerpo más lesionadas. Son frecuentes las fracturas múltiples, abiertas o cerradas, sobre todo de los huesos largos, tanto en la extremidad superior como en la inferior. Pueden encontrarse, con menos frecuencia, amputaciones.

3. ATROPELLOS

Un atropello supone el alcance violento de un vehículo en movimiento sobre un peatón. Es independiente que el peatón se encuentre quieto o en movimiento, el elemento a tener en cuenta es la transmisión de la energía del vehículo al peatón cuando el primero entra en contacto con el segundo.

Se distinguen 4 fases:

1. Choque
2. Caída
3. Aplastamiento
4. Arrastre

Cuando aparecen todas ellas se habla de atropello completo o típico y, cuando falta/n alguna/s, se habla de atropello incompleto o atípico.

3.1 Choque

Es el primer contacto entre el peatón y el vehículo. Las lesiones del peatón se localizarán en aquellas partes del cuerpo que entran en contacto con el vehículo. En un primer momento, las lesiones se derivan de este primer contacto, el cual suele ubicarse en las partes del cuerpo (miembros inferiores y pelvis) que contactan con el parachoques o con otra parte delantera del vehículo. Las lesiones más frecuentes son las contusiones, las heridas contusas, los derrames articulares, los esguinces y luxaciones y las fracturas. La fractura tibial, transversal u oblicua, cerrada o abierta, es la más frecuente.

El lugar donde se encuentra la lesión (la herida contusa de contacto y la fractura) permite determinar el punto de incidencia del vehículo. La orientación de la fractura puede ayudar a conocer la dirección del impacto.

En un segundo momento, el peatón entra en contacto con el vehículo, una vez que ha perdido el equilibrio. Las lesiones se localizan en la mitad superior del cuerpo (cintura pélvica, tronco, miembros superiores y cráneo) y se derivan del contacto del peatón con la parte superior y delantera del vehículo. Pueden aparecer lesiones craneales (contusión craneal), faciales (si la cara alcanza la luneta anterior, con la existencia de contusiones, heridas contusas y cortantes y fracturas de los huesos de la cara), de los miembros superiores (contusiones y heridas contusas sobre todo) y costales; puede aparecer también fractura de algún arco costal.

3.2 Caída

Se han estudiado las velocidades necesarias para que un peatón, después del primer contacto con el vehículo, pueda ser proyectado por delante del vehículo o sobre él. Los elementos a tener en cuenta son variados; dependen del tipo y altura del vehículo, de la velocidad del mismo, de la altura del peatón y de la actitud de este último. El estudio de estos elementos sobrepasa los contenidos del presente capítulo, por lo que sólo se explicarán unas nociones generales de la lesionología a la que pueden dar lugar.

Al tratarse de una caída acelerada, las partes del cuerpo más vulnerables serán la cabeza y los miembros superiores. En la cabeza podrá encontrarse desde una pequeña contusión hasta fracturas de base o de bóveda craneal, pasando por las hemorragias meníngeas y encefálicas. En los miembros superiores las lesiones son similares a las de una caída en la que no haya intervenido un vehículo, con el agravamiento correspondiente por la energía que le ha transmitido el vehículo. Puede aparecer desde erosiones, excoriaciones y pequeñas heridas contusas, hasta fracturas múltiples, abiertas o cerradas.

3.3 Aplastamiento

El vehículo tiende a pasar sobre la víctima cuando, después de la caída, se encuentra en sentido transversal a la trayectoria del vehículo, mientras que tiende a apartar al peatón cuando éste se encuentra en la calzada, después de la caída, en un sentido longitudinal.

Las lesiones se corresponden con el contacto de las ruedas u otras partes del vehículo que entran en contacto con el peatón, de este modo la gravedad de las lesiones serán mayores si vehículo entra en contacto con la cabeza, el tórax y el abdomen. Asimismo, el peso del vehículo determinará la posible gravedad de las lesiones. De este modo, se puede pensar que el aplastamiento derivado por la rueda de un camión de alto tonelaje sobre el cráneo de un peatón provocará la muerte del mismo, mientras que el paso de una motocicleta de poco peso sobre una pierna dará lugar a lesiones que puede que ni siquiera lleguen a ocasionar una fractura.

La gravedad en esta fase, por tanto, viene marcada por la región o víscera afectada, de este modo la gravedad será mayor si es el encéfalo el aplastado y menos grave, relativamente, si es una extremidad la aplastada.

En ocasiones, la lesionología interna del tórax y del abdomen pueden arrojar pistas sobre la situación del peatón y del vehículo en esta fase del atropello; la disposición de los arcos costales o las laceraciones de las vísceras son elementos a tener en cuenta.

De cualquier modo, es la piel la que recoge el mayor número de pistas, estructura que, por otro lado, resiste bien el paso de rueda; se podrá observar el dibujo de la llanta, la profundidad de la misma y las contusiones, quemaduras y heridas contusas producidas por los bajos del vehículo.

3.4 Arrastre

Una vez que el vehículo ha sobrepasado el peatón, éste ha podido quedar enganchado a alguna estructura de los bajos del vehículo (en los enganches del tubo de escape, por ejemplo) y ser arrastrado durante un cierto trayecto. Las lesiones más frecuentes aparecen en las partes descubiertas del cuerpo y consisten, sobre todo, en excoriaciones lineales producidas por la fricción de la piel sobre el suelo.

Las causas más frecuentes de un atropello incompleto o atípico son las siguientes:

- a) Cuando el peatón se encuentra en el suelo y no existe, por tanto, ni choque ni caída. Situaciones como ésta suelen deberse a muertes súbitas o a cuadros con pérdida de conciencia. En el atropello sólo se observarán las lesiones de aplastamiento y arrastre (si éste existiera). El problema médico-legal que se plantea es el de la determinación de la causa de la muerte; si el paciente sobrevive el estudio se torna menos complicado.
- b) En los casos en los que el vehículo iba con escasa velocidad (en el momento de aparcar el vehículo, por ejemplo), el peatón puede sufrir solamente el choque o el choque y la caída, en este caso poco acelerada.
- c) El arrastre es la fase menos frecuente.

INVESTIGACIÓN CRIMINAL EN LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO MORTALES

En general, en un accidente de tráfico en el que tenga que intervenir una comisión judicial y, por tanto, existirá una intervención del médico forense, existirá un atestado policial, documento con carácter de denuncia donde se extienden las diligencias realizadas por los funcionarios correspondientes. En el atestado constarán los datos del accidente, los vehículos y personas implicadas, la climatología probable en el momento del accidente, el estado de la calzada, las declaraciones de los implicados (incluyendo el posible estado de alcoholemia) y de los testigos y las comprobaciones realizadas. Es un documento de notable importancia.

En la inspección ocular se tomará como base los 3 elementos que intervienen en la producción del accidente: el hombre, la vía y el vehículo.

1. La causa derivada del hombre en un accidente de tráfico puede deberse a:
 - a) Causas orgánicas, pudiendo ser permanentes (pérdida de visión) o transitorias (lipotimia, infarto agudo de miocardio, ictus...).
 - b) Causas tóxicas, por conducir bajo la influencia del alcohol o de las drogas.
 - c) Causas psíquicas, en ciertos trastornos mentales.
 - d) Falta de conocimientos, experiencia o pericia.
2. En el estudio de la causa derivada del estado de la carretera habrá que tener en cuenta el firme, la configuración geométrica, la señalización, las circunstancias ambientales y los indicios (huellas y vestigios que se evidencien en el accidente). Estos datos no son recogidos por el médico forense y constarán en el atestado y en los posteriores estudios.
3. Algo similar se analizará en el estudio de la causa derivada del vehículo, datos que podrá conocer el médico forense y que procederán de los estudios de la policía o de otros peritos.

La labor del médico forense constará de 3 partes: el levantamiento del cadáver, la práctica de la autopsia y los exámenes complementarios.

1. En la primera, los datos que se pueden recoger son importantes, sobre todo, cuando se trata de vuelcos en los que los ocupantes del vehículo o de los vehículos han sido desplazados fuera de los mismos. La información se completará con el atestado policial (fotografías incluidas).
2. En la segunda parte, la práctica de la autopsia, se intentará relacionar lo sucedido con las lesiones que se encuentren. Además se recogerá la información que pueda identificar, en el caso de los atropellos, al vehículo o vehículos participantes en el accidente. Uno de los objetivos a perseguir en la autopsia es la determinación de la etiología médico-legal y descartar una muerte natural, un homicidio o un suicidio.

3. El objetivo de la tercera parte, los exámenes complementarios, es variado y pueden formar parte de la rutina médico-forense o estar más en consonancia con la labor policial. En relación con este último se encuentra la recogida de muestras de material (metales, pintura, etc.) que persiguen la identificación de un vehículo. Dentro de la actividad médico-forense se encuentra la determinación de alcoholemia, de tóxicos y la búsqueda de una posible muerte de origen natural.

SECUELAS ORIGINADAS DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO

Las secuelas derivadas de un accidente de tráfico pueden ser anatómicas, funcionales, psíquicas y estéticas. Además, éstas pueden influir en el desarrollo de la vida cotidiana y de la laboral. Los perjudicados pueden ser independientes o dependientes, tanto física como personalmente.

Las indemnizaciones por las secuelas derivadas de la responsabilidad civil de los accidentes de tráfico vienen clasificadas en la Tabla VI de la Ley 30/1995, de 8 de noviembre, de ordenación y supervisión de los Seguros Privados, modificada por la Ley 34/2003, de 4 de noviembre, de modificación y adaptación a la normativa comunitaria de la legislación de seguros privados, y por el Real Decreto Legislativo 8/2004, de 29 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre responsabilidad civil y seguro en la circulación de vehículos a motor. Siguiendo dicha tabla se puede recoger:

1. Cabeza

- Lesiones que producen una pérdida de sustancia ósea.
- Afasia, que será diferente según la localización de la lesión: motora, cuando la lesión está localizada en zona cortical frontal inferior (área de Broca) en la que el paciente no puede expresarse aunque comprende perfectamente, y sensitiva (Wernicke) cuando se afecta el área témporo-parietal y está alterada la comprensión.
- Amnesia, que puede ser anterógrada, siendo el individuo incapaz de fijar acontecimientos que ocurran tras la lesión, o retrógrada en la que el individuo no recuerda lo que ha ocurrido con anterioridad al accidente.
- Epilepsia, que pueden ser convulsivas o no.
- Deterioro de las funciones cerebrales superiores integradas.
- Síndrome cerebeloso, caracterizado por alteración de la base de sustentación del lado lesionado, movimientos oculares anormales, temblor intencional del lado lesionado, y bilateral si la afectación es global.
- Estado vegetativo persistente.

- Síndromes motores, como la disartria (alteración en la articulación del lenguaje), la ataxia (alteración o descoordinación en la marcha) y la apraxia (dificultad para realizar movimientos intencionados).
- Hemiplejias y hemiparesias (pérdida de fuerza de un hemicuerpo).

2. *Síndromes psiquiátricos*

- Síndrome posconmocional.
- Trastorno orgánico de la personalidad.
- Trastorno del humor: depresión reactiva.
- Trastorno de estrés postraumático.

3. *Cara*

- Las secuelas que se valoran serán las alteraciones en la oclusión dental.
- En la boca la pérdida de dientes, alteraciones en la lengua, gustativas o amputación.
- La alteración de la nariz y del olfato.
- El sistema ocular.
- La audición y el equilibrio.

4. *Tronco*

- Columna vertebral: recoge las lesiones de las vértebras, como aplastamientos, protrusiones discales, necesidad de uso de material de osteosíntesis, dolores postraumáticos, pérdida de estática vertebral, limitaciones de la movilidad de columna cervical, lumbar, alteraciones en la pelvis que impidan un parto vía vaginal, etc.
- Cuello: recoge las secuelas que dan lugar a alteraciones en la deglución, disfonías por lesión de cuerdas vocales y estenosis traqueales por necesidad de traqueotomía.
- Tórax: recoge las secuelas que producen restricción respiratoria.
- Abdomen: recoge las secuelas de la extirpación de un órgano, tal como el bazo (esplenectomía), el hígado, el estómago (gastrectomía) o el riñón y las derivadas de las lesiones intestinales.

5. *Cardiovascular*

- Se recogen las secuelas de la insuficiencia cardíaca que puede quedar tras el accidente y del grado de la misma.
- Se recogen, además, las alteraciones vasculares como aneurismas, flebitis, fístulas arteriovenosas y la claudicación de miembros inferiores.

6. *Extremidad superior y cintura escapular*

Se recogen las posibles secuelas que puedan quedar en cualquier parte del miembro superior, tal como la amputación, la limitación de los movimientos, las enfermedades traumáticas, el déficit de función que permanezca al establecerse dicha secuela, si es o no el miembro dominante, etc.

7. *Extremidad inferior y cadera*

En este apartado, al igual que en el anterior, se recogen las secuelas del miembro inferior, valorándose la limitación que produzca dicha secuela, si es pérdida funcional o anatómica.

8. *Médula espinal y pares craneales*

- Se recogen las secuelas derivadas de las plejias y paresias, el síndrome medular transversal, el de hemisección medular y el síndrome de la cola de caballo.
- En los pares craneales se recogen las secuelas derivadas de los pares III, IV, V, VI, VII, IX, X, XI y XII.

9. *Sistema nervioso periférico*

Se recogen las parálisis y las paresias de los nervios motores y sensitivos de los miembros superiores e inferiores.

10. *Trastornos endocrinos*

Recoge la hipofunción pituitaria-hipotalámica anterior y las diabetes insípida.

ANEXOS: LEGISLACIÓN MÁS RELEVANTE EN MATERIA DE ACCIDENTES DE TRÁFICO

1. DERECHO PENAL

Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal, capítulo IV del título XVII, del libro II, de los delitos contra la seguridad vial. Redacción según Ley Orgánica 15/2007, de 30 de noviembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 10/1995, del Código Penal en materia de seguridad vial.

En los artículos 379-385 del Código Penal se recogen los tipos delictivos relacionados con la circulación. Con la última modificación realizada por la Ley Orgánica 15/2007, basta con concentraciones mayores de etanol de 0,6 mg/l de aire espirado o 1,2 g/l de sangre para incurrir en el delito tipificado en el

artículo 379 del Código Penal. Se incluyen dichos artículos aquí por su especial relevancia para el presente capítulo:

Artículo 379.

1. El que condujere un vehículo de motor o un ciclomotor a velocidad superior en sesenta kilómetros por hora en vía urbana o en ochenta kilómetros por hora en vía interurbana a la permitida reglamentariamente, será castigado con la pena de prisión de tres a seis meses o a la de multa de seis a doce meses y trabajos en beneficio de la comunidad de treinta y uno a noventa días, y, en cualquier caso, a la de privación del derecho a conducir vehículos a motor y ciclomotores por tiempo superior a uno y hasta cuatro años.
2. Con las mismas penas será castigado el que condujere un vehículo de motor o ciclomotor bajo la influencia de drogas tóxicas, estupefacientes, sustancias psicotrópicas o de bebidas alcohólicas. En todo caso será condenado con dichas penas el que condujere con una tasa de alcohol en aire espirado superior a 0,60 miligramos por litro o con una tasa de alcohol en sangre superior a 1,2 gramos por litro.

Artículo 380.

1. El que condujere un vehículo a motor o un ciclomotor con temeridad manifiesta y pusiere en concreto peligro la vida o la integridad de las personas será castigado con las penas de prisión de seis meses a dos años y privación del derecho a conducir vehículos a motor y ciclomotores por tiempo superior a uno y hasta seis años.
2. A los efectos del presente precepto se reputará manifiestamente temeraria la conducción en la que concurrieren las circunstancias previstas en el apartado primero y en el inciso segundo del apartado segundo del artículo anterior.

Artículo 381.

1. Será castigado con las penas de prisión de dos a cinco años, multa de doce a veinticuatro meses y privación del derecho a conducir vehículos a motor y ciclomotores durante un período de seis a diez años el que, con manifiesto desprecio por la vida de los demás, realizare la conducta descrita en el artículo anterior.
2. Cuando no se hubiere puesto en concreto peligro la vida o la integridad de las personas, las penas serán de prisión de uno a dos años, multa de seis a doce meses y privación del derecho a conducir vehículos a motor y ciclomotores por el tiempo previsto en el párrafo anterior.
3. El vehículo a motor o ciclomotor utilizado en los hechos previstos en el presente precepto se considerará instrumento del delito a los efectos del artículo 127 de este Código.

Artículo 382.

Quando con los actos sancionados en los artículos 379, 380 y 381 se ocasionare, además del riesgo prevenido, un resultado lesivo constitutivo de delito, cualquiera que sea su gravedad, los Jueces o Tribunales apreciarán tan sólo la infracción más gravemente penada, aplicando la pena en su mitad superior y

condenando, en todo caso, al resarcimiento de la responsabilidad civil que se hubiera originado.

Artículo 383.

El conductor que, requerido por un agente de la autoridad, se negare a someterse a las pruebas legalmente establecidas para la comprobación de las tasas de alcoholemia y la presencia de las drogas tóxicas, estupefacientes y sustancias psicotrópicas a que se refieren los artículos anteriores, será castigado con la penas de prisión de seis meses a un año y privación del derecho a conducir vehículos a motor y ciclomotores por tiempo superior a uno y hasta cuatro años.

Artículo 384.

El que condujere un vehículo de motor o ciclomotor en los casos de pérdida de vigencia del permiso o licencia por pérdida total de los puntos asignados legalmente, será castigado con la pena de prisión de tres a seis meses o con la de multa de doce a veinticuatro meses y trabajos en beneficio de la comunidad de treinta y uno a noventa días.

Las mismas penas se impondrán al que realizare la conducción tras haber sido privado cautelar o definitivamente del permiso o licencia por decisión judicial y al que condujere un vehículo de motor o ciclomotor sin haber obtenido nunca permiso o licencia de conducción.

Artículo 385.

Será castigado con la pena de prisión de seis meses a dos años o a las de multa de doce a veinticuatro meses y trabajos en beneficio de la comunidad de diez a cuarenta días, el que origine un grave riesgo para la circulación de alguna de las siguientes formas:

1. Colocando en la vía obstáculos imprevisibles, derramando sustancias deslizantes o inflamables o mutando, sustrayendo o anulando la señalización o por cualquier otro medio.
2. No restableciendo la seguridad de la vía, cuando haya obligación de hacerlo.

2. DERECHO ADMINISTRATIVO

2.1 Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo, por el que se aprueba el Texto Articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial.

Es la denominada Ley sobre Tráfico, modificada más recientemente. Esta ley tiene por objeto establecer una regulación legal en materia de tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial.

2.2 Ley 19/2001, de 19 de diciembre, de reforma del texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial aprobado por Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.

En su exposición de motivos se indica que desde que se promulgó el texto articulado de la Ley sobre Tráfico ha transcurrido una década, durante la cual dicha norma ha servido de fundamento legal a todo el derecho positivo de la circulación, constituido básicamente por el Código de la Circulación, que no fue bruscamente derogado, sino que subsistió como reglamentación vigente al amparo de la disposición transitoria de dicho texto articulado y en tanto se desarrollase el mismo. Con la publicación del Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos, se culminó el imprescindible desarrollo reglamentario de la ley y se abrió una nueva etapa, por lo que era ya el momento oportuno para efectuar en dicho texto articulado los ajustes y mejoras que su aplicación ha revelado necesarios.

2.3 Real Decreto 318/2003, de 14 de marzo, por el que se modifica el Reglamento de procedimiento sancionador en materia de tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por Real Decreto 320/1994, de 25 de febrero, para adaptarlo a la Ley 19/2001, de 19 de diciembre, de reforma del texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial, aprobado por Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.

La disposición final segunda de la Ley 19/2001 estableció que el Gobierno, en el plazo máximo de 6 meses desde la entrada en vigor de dicha reforma, procederá a modificar el Reglamento de procedimiento sancionador en materia de tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por Real Decreto 320/1994, para adecuarlo a las modificaciones contenidas en dicha reforma. El Real Decreto 318/2003 tiene por objeto el cumplimiento de dicho mandato legislativo. Se trasladan así al Reglamento de procedimiento sancionador las innovaciones que en esta materia ha introducido la ley de reforma, entre las que cabe destacar el diverso tratamiento dado a la concurrencia de las actuaciones jurisdiccionales penales sobre el mismo hecho, que no impide la continuación del procedimiento administrativo sancionador, el cual queda práctica y completamente instruido hasta el momento de dictar resolución, en que se suspende hasta que la autoridad judicial resuelva lo procedente. Por otra parte, se concretan de manera precisa los casos en los que se admite la notificación de la denuncia con posterioridad a la comisión de la infracción, reforzando de este modo la vigilancia en zonas urbanas.

2.4 Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.

El Reglamento General de Circulación es una norma muy extensa (tiene 5 títulos y 172 artículos) que trata todos los aspectos de la circulación de vehículos a motor, bicicletas, peatones e, incluso, circulación vial de animales. En su redacción de 2003, se introdujeron normas en materia de ciclismo y se contemplaron nuevas infracciones o se variaron la calificación de otras, como es el caso del uso de dispositivos de telefonía móvil o la circulación en sentido contrario, respectivamente.

2.5 Ley 17/2005, de 19 de julio, por la que se regula el permiso y la licencia de conducción por puntos y se modifica el texto articulado de la ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial.

En la exposición de motivos de esta ley se señala que se pretende establecer un sistema denominado permiso y licencia de conducción por puntos y que, incidiendo sobre las autorizaciones administrativas para conducir, sea la combinación de dos elementos esenciales: la educación y el efecto punitivo. En primer lugar, su carácter eminentemente reeducador al configurar el cauce adecuado para modificar aquellos comportamientos, mediante la realización de cursos de sensibilización y reeducación vial de los conductores reincidentes, con el objetivo esencial de modificar los comportamientos infractores, cursos cuya superación, junto al cumplimiento de otros requisitos y pruebas que se establecen, permitirá la recuperación parcial o total del capital de puntos que, según los casos, corresponda a un conductor. Y, en segundo lugar, su efecto punitivo para aquellos comportamientos, consistente en la disminución o pérdida del crédito en puntos con que cuenta un conductor, titular de permiso o licencia de conducción. Puntos que son, cita el preámbulo de la ley, reflejo del nivel de confianza que como tal conductor le otorga la sociedad en un momento dado y cuya pérdida, a su vez, señala el reproche que tales conductas merecen, derivado y con un claro sustento en la reiterada comisión de infracciones.

El artículo 60 del Real Decreto Legislativo 339/1990, que modifica la Ley 17/2005 y que versa sobre permisos y licencias de conducción, detalla el funcionamiento de la pérdida y recuperación de los puntos, que en la mayoría de los conductores son 12 y se van perdiendo con el listado de acciones que se enumeran en el anexo II de la ley. En el artículo 65, se lista el cuadro general de infracciones, que han sido modificadas por la Ley 17/2005, figurando entre las muy graves, cuando no sean constitutivas de delito, las siguientes conductas que se incluyen por su relevancia en la investigación médico-legal:

- a. La conducción por las vías objeto de esta Ley habiendo ingerido bebidas alcohólicas con tasas superiores a las que reglamentariamente se establezcan, y, en todo caso, la conducción bajo los efectos de estupeficientes, psicotrópicos, estimulantes y cualquier otra sustancia de efectos análogos.

- b. Incumplir la obligación de todos los conductores de vehículos de someterse a las pruebas que se establezcan para detección de posibles intoxicaciones de alcohol, estupefacientes, psicotrópicos, estimulantes y otras sustancias análogas, y la de los demás usuarios de la vía cuando se hallen implicados en algún accidente de circulación.

Se establece en el artículo 82 del texto articulado de la Ley sobre Tráfico, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, que las sanciones graves y muy graves firmes en vía administrativa serán anotadas en el Registro de conductores e infractores, cuya gestión, a tenor de las competencias que el artículo 5 de dicha ley atribuye al Ministerio del Interior, corresponde al organismo autónomo Jefatura Central de Tráfico.

3. DERECHO CIVIL

3.1 Real Decreto Legislativo 8/2004, de 29 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre responsabilidad civil y seguro en la circulación de vehículos a motor.

Este real decreto tiene por objeto la aprobación del texto refundido de la ley sobre responsabilidad civil y seguro en la circulación de vehículos a motor, que da cumplimiento al mandato conferido al Gobierno por la disposición final primera de la Ley 34/2003, de 4 de noviembre, de modificación y adaptación a la normativa comunitaria de la legislación de seguros privados. Tiene 3 títulos, 31 artículos y un anexo. En sus títulos versa sobre el seguro obligatorio, la satisfacción de la indemnización en el ámbito del seguro obligatorio, y explica la acción civil procesal de las diligencias preparatorias y el ejercicio judicial de la acción ejecutiva. Además existe un título que trata de los siniestros ocurridos en un estado distinto al de residencia del perjudicado, en relación con el aseguramiento obligatorio.

El anexo corresponde al sistema para la valoración de los daños y perjuicios causados a las personas en accidentes de circulación o baremo indemnizatorio por accidentes de circulación.

Este real decreto ha sido modificado puntualmente por la Ley 21/2007, de 11 de julio, por la que se modifica el texto refundido de la Ley sobre responsabilidad civil y seguro en la circulación de vehículos a motor, aprobado por el Real Decreto Legislativo 8/2004, de 29 de octubre, y el texto refundido de la Ley de ordenación y supervisión de los seguros privados, aprobado por el Real Decreto Legislativo 6/2004, de 29 de octubre.

Esta modificación se realizó con el fin de incorporar al derecho interno la Directiva 2005/14/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de mayo de 2005, por la que se modifican las Directivas 72/166/CEE, 84/5/CEE, 88/357/CEE y 90/232/CEE del Consejo, y la Directiva 2000/26/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativas al seguro de responsabilidad civil derivada de la circulación de vehículos automóviles (quinta directiva del seguro de automóviles).

Asimismo, se efectúan otras modificaciones al objeto de avanzar en la regulación del seguro obligatorio de vehículos a motor, uno de los de mayor trascendencia del mercado español de seguros tanto en su vertiente social de protección a las víctimas de accidentes de circulación y a los asegurados, como en su dimensión económica, en continua expansión.

3.2 *Real Decreto 1507/2008, de 12 de septiembre*, por el que se aprueba el Reglamento del seguro obligatorio de responsabilidad civil en la circulación de vehículos a motor.

En la exposición de motivos de este real decreto se señala que la Ley 21/2007 ha introducido importantes modificaciones en la configuración de la responsabilidad civil derivada de la circulación de vehículos a motor y en la del seguro que obligatoriamente la cubre. El real decreto viene a aprobar un nuevo reglamento del seguro obligatorio de responsabilidad civil en la circulación de vehículos a motor, que sustituye al reglamento aprobado por el Real Decreto 7/2001, de 12 de enero. Con las modificaciones introducidas por la mencionada Ley 21/2007, el vigente texto refundido de la ley sobre responsabilidad civil y seguro en la circulación de vehículos a motor recoge de forma unitaria toda la normativa sobre esta parte del sistema de responsabilidad civil, de manera que el ámbito reglamentario debe quedar reducido al desarrollo de determinados aspectos del seguro obligatorio que garantiza la responsabilidad civil derivada de la circulación de vehículos a motor. De ahí también el cambio en la denominación de este reglamento que pasa a serlo sólo del seguro obligatorio de responsabilidad civil en la circulación de vehículos a motor.

El nuevo reglamento precisa, entre otros contenidos, los conceptos de vehículos a motor y de hechos de la circulación y establece la previsión de compensación en la aplicación de los importes de la cobertura del seguro obligatorio fijados en el texto refundido de la ley sobre responsabilidad civil y seguro en la circulación de vehículos a motor, con la consiguiente posibilidad de superación del sistema de aseguramiento dual, seguro obligatorio y seguro voluntario de responsabilidad civil, existente en la actualidad. Además, el nuevo reglamento concreta determinados aspectos de la oferta motivada de indemnización y de la respuesta motivada que deben emitir las entidades aseguradoras, sistematiza la documentación relativa al seguro, incluida la que sirve para acreditar su vigencia, desarrolla determinados aspectos referidos al pago de la indemnización, recoge la regulación de la Oficina Española de Aseguradores de Automóviles y contiene, actualizado, el régimen del Fichero Informativo de Vehículos Asegurados, como mecanismo central para la identificación de la entidad aseguradora que cubre la responsabilidad civil de cada uno de los vehículos implicados en un accidente y del control de la obligación de asegurarse.

20

PSIQUIATRÍA FORENSE:
SIMULACIÓN
Y DISIMULACIÓN DE
ENFERMEDADES Y LESIONES.
TRASTORNOS DE
LA PERSONALIDAD.
TOXICOMANÍAS

Rosa María Marote González

Médico Forense del Juzgado de Violencia sobre la Mujer nº 3 de Madrid

Francisco Javier Pera Bajo

Director de la Clínica Médico Forense de Madrid





Figura 1. Dr. D. Tomás Mestre y Pérez. Catedrático de Medicina Legal (1903 - 1929). Fundador del Instituto de Medicina Legal, Toxicología y Psiquiatría Central de España (1914), posterior Escuela de Medicina Legal (1929).

SIMULACIÓN Y DISIMULACIÓN DE ENFERMEDADES Y LESIONES

El DSM-IV TR (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*) de la Asociación Americana de Psiquiatría define la simulación como la «producción intencional de síntomas físicos o psicológicos desproporcionados o falsos, motivados por incentivos externos». El paciente podría tanto simular un cuadro patológico que no padece (buscando atenuaciones de responsabilidades y de sentencias desfavorables), como intentar ocultar signos y síntomas que nos hiciesen llegar a un diagnóstico correcto, que tal vez pudiese perjudicarle (para conseguir un trabajo, contratar una póliza de seguros, evitar un internamiento psiquiátrico involuntario, ingresar en un cuerpo que le exija un estado físico-sanitario que no posee). Puede haber intención de engañar por parte del paciente, pero en ocasiones es una manifestación de la patología que padece.

El mismo DSM-IV manifiesta que debe sospecharse simulación en las siguientes circunstancias:

1. Cuando los trastornos aparecen en un contexto médico-legal, especialmente en las exploraciones a instancia de parte.

2. Cuando existen notables discrepancias entre los síntomas y los hallazgos exploratorios.
3. Si no hay cooperación por parte del paciente para la exploración, terapéutica, etc.
4. Si hay historia previa de un trastorno antisocial de la personalidad.

Rogers propuso la denominación de «estilo de respuesta no fidedigna». Nos podemos enfrentar tanto a auténticos simuladores que mienten o exageran voluntariamente, como a pacientes que presentan respuestas anormales ante su enfermedad o su situación concreta.

Los simuladores ocasionales suelen tener un sentido amoral y hedonista de la vida y ser altamente egoístas.

Los simuladores permanentes suelen tener anomalías psíquicas.

En el simulador patogénico, existe una patología psiquiátrica severa subyacente. En el caso del simulador criminológico, hay un núcleo antisocial o psicopático en la simulación. En el adaptativo, simula para reconducir circunstancias adversas.

Vallejo clasifica los simuladores permanentes:

- a) Inculto: escasa inteligencia y cultura; ejemplos reseñables son los militares automutiladores y los obreros que agravan los accidentes laborales.
- b) Sugestionable: muy inseguros, se amparan en la enfermedad.
- c) Paranoide: no aceptan situaciones de inferioridad, como ser soldados rasos, o indemnizaciones que les parecen escasas.
- d) Histérico: con afán de notoriedad en su personalidad, pone en marcha mecanismos subconscientes.
- e) Mitómano o fabulador: presenta necesidad de suscitar admiración, adaptando cualquier rol en la creencia de ser cierto; puede alardear de patologías severas más que imitarlas.
- f) Emotivo: personalidad impresionable y cobarde, la motivación se encuentra en el miedo a la muerte (militares en tiempo de guerra) o a hacer el ridículo.
- g) Amoral: para obtener mayores indemnizaciones, y para disimular responsabilidades penales; con fondo perverso y delictivo en contra de la propiedad.
- h) Profesional: es su medio de vida; vagabundos y mendigos con lesiones incrementadas o exageradas.

En los casos de patología somática, la inmensa mayoría de los casos corresponden al grupo adaptativo, siendo la circunstancia adversa un accidente, o más raramente una enfermedad. El dolor tiene, además del componente sensitivo, un componente psicológico; puede presentar miedo ante el dolor crónico, con temor tanto a su causa como a sus consecuencias, lo que puede facilitar su perpetuación; esta reacción hace que en ocasiones se etiquete inadecuadamente de simulador.

Se denomina respuesta neurótica (o de conversión) al desplazamiento de conflictos internos, generalmente preexistentes, convirtiéndolos en síntomas físicos, tanto para conseguir una atenuación de responsabilidades como para obtener ventajas del diagnóstico de la enfermedad. Cuando no se intenta obtener beneficios, se considera que se trata de un trastorno facticio, que puede llegar al extremo de presentar un síndrome de Munchausen. En ocasiones hay una necesidad de ayuda o atención. La neurosis postraumática sería otro ejemplo (evitación, temor, dependencia y conductas fóbicas). Habría una desproporción entre el tipo de traumatismo y las consecuencias psíquicas.

Las respuestas psicotraumáticas se generan en la vivencia concreta del accidente, más allá de las lesiones que el mismo hubiese podido provocar. Incluiría el síndrome de estrés postraumático, y la incertidumbre ante una evolución más lenta de la esperada por el paciente. Para acceder a estas situaciones, no sería necesaria la existencia de factores premórbidos predisponentes, siendo, por tanto, una respuesta más frecuente. Facilitaría su aparición o persistencia el retraso en adoptar medidas terapéuticas eficaces.

La dificultad para reanudar el trabajo habitual influye negativamente, especialmente dependiendo de la profesión (por ejemplo, lesión lumbar en albañil), la situación que se crea en trabajadores con contratos temporales, o la dificultad que se genera para obtener trabajo en el caso de parados. El paciente suele hacer frecuentes menciones a las repercusiones laborales generadas.

El auténtico simulador exagera o genera voluntariamente síntomas o signos falsos. Puede haber un incentivo económico (indemnización o cambio de puesto a otro más favorable). Cuando el simulador verdadero exagera desmesuradamente (silla de ruedas, bastones para la deambulación, etc.), sufre realmente las consecuencias de su simulación de forma permanente, pareciendo que el teórico beneficio queda neutralizado, lo que sería tolerable para el sujeto solamente en casos de afectación psicopatológica severa.

Existe un grupo de síndromes en los casos de simulación somática:

- a) El síndrome de Briquet presenta un mínimo de 13 síntomas físicos no explicables, acompañados generalmente de depresión y conductas de llamada, que incluyen intentos de suicidio. Los periodos de ILT (incapacidad laboral transitoria) habituales son la norma.
- b) El trastorno doloroso somatomorfo presenta episodios dolorosos al menos durante 6 meses, sin justificación médica.
- c) En el trastorno facticio pretende beneficiarse del papel de paciente, llegando hasta a padecer un síndrome de Munchausen.
- d) En el síndrome de incapacidad, se mantienen los síntomas mucho tiempo después de la curación; está dificultando el reingreso laboral.

Otros pacientes presentan una sensación dolorosa que parece la motivación de su vida, y en cuyo eje se encuentra.

A veces, el paciente no se esfuerza en demasía en la simulación, por la dificultad en mantener el cuadro ficticio permanentemente en todo su esplendor.

Pueden aparecer episodios de hiperventilación en pacientes con base de personalidad ansiosa, cuyos síntomas el explorador puede hacer reproducir instando una hiperventilación voluntaria.

Algunos pacientes presentan una actitud defensiva, lo que dificulta su examen, tanto de forma verbal como durante la exploración (negación de estados anteriores, de síntomas actuales o falta de colaboración a la exploración).

Algunos datos pueden hacer sospechar al médico explorador la existencia de estos cuadros. La historia clínica y la exploración minuciosa, apoyada en exploraciones complementarias orientadas, y la valoración de todos los antecedentes del hecho y de la biografía del paciente, nos ayudarán a la hora de emitir conclusiones. También serán de ayuda las evoluciones inesperadas en el seno del diagnóstico.

El paciente puede exagerar, localizar el dolor en lugares y con matices atípicos, precisarlos excesivamente, no colaborar en la exploración, no presentar signos físicos, especialmente al movimiento resistido (el simulador cree que el movimiento resistido es doloroso, lo que es altamente infrecuente), perder la conciencia con caída brusca y teatral, responder con sensación de frío por calor, presentar un punto de fatiga de aparición brusca, existir discrepancias entre lo que el paciente relata y lo que resulta en la exploración, o entre síntomas y pruebas complementarias, presentar discordancias entre lo que el paciente dice sufrir y su conducta. Hay que anotar en cada visita la sintomatología y exploración, y cotejar si en revisiones sucesivas presenta cambios no justificables por la evolución de la patología. Hay que explorar al paciente distrayéndole, e iniciando siempre el examen físico por una zona indolora, y finalizar la exploración siempre en una actitud antigravitatoria (partes que dice no poder mover quedan suspendidas en el aire). Las dudas del paciente en cuanto a zona, intensidad y características del dolor pueden ser otra pista. La exploración debe repetirse en diferentes posiciones, para ver si existen diferentes hallazgos.

Para Gisbert, los rasgos que definen la simulación son:

1. Voluntariedad consciente del fraude.
2. Imitación de trastornos patológicos o de sus síntomas.
3. Finalidad utilitaria: beneficio o provecho inmediatos para el simulador.

El mismo autor clasifica las simulaciones en relación a los fines que se desean obtener:

1. Simulación defensiva: cuando se persigue regir una sanción o condena.
2. Ofensiva: cuando se finge la enfermedad para vengarse de alguien a quien se atribuye el origen.
3. Exonerativa: sobre todo antiguamente para librarse del servicio militar obligatorio, o cualquier otra obligación (mesa electoral, jurado, etc.).
4. Lucrativa: mendigos que simulan dolencias para explotar la caridad pública.

5. Aduladora: discípulos y cortesanos que imitan las dolencias o defectos de maestros o poderosos.
6. Ambiciosa: para conseguir honores y prebendas, en relación con la anterior.
7. Afectiva: motivada por razones afectivas o sentimentales, a veces altruistas, aunque en general son egoístas.

Gisbert clasifica las variedades de enfermedades simuladas en:

- a) Provocada: el mismo individuo se produce lesiones o síntomas.
- b) Alegada: exclusivamente manifiesta los síntomas.
- c) Imitada: la más frecuente, actúa simulando la enfermedad.
- d) Exagerada: incrementando los síntomas y el sufrimiento que generan.
- e) Imputada: se falsea el origen de una patología, para hacer responsable a otro.
- f) Disimulada: oculta la afección patológica.

En relación a los simuladores de afecciones mentales, Lasègue mencionaba que no se simula bien más que aquello que se tiene, considerando que la suelen llevar a cabo personalidades histéricas, con deterioros cognitivos, o con retraso mental.

En conclusión, la función del médico forense será la de informar acerca de la existencia de una simulación o disimulación, el tipo y características de la misma, y su posible relación con auténticas alteraciones mentales.

TRASTORNOS DE LA PERSONALIDAD

A requerimiento de jueces, fiscales o tribunales, el médico forense debe aplicar los conocimientos médicos para establecer la existencia de una anormalidad o enfermedad mental, y así el juzgador podrá aplicar la legislación en el caso de ilícitos penales, en concordancia con dicha patología.

El informe debe determinar la existencia, de una parte, un determinado estado biológico del autor (enfermedad mental o enajenación, trastornos mentales equivalentes de carácter transitorio, debilidad mental, trastornos de personalidad, etc.) y, de la otra, las consecuencias de dicho estado (capacidad de comprensión de la antijuridicidad y de comportarse de acuerdo con tal comprensión).

Los trastornos de la personalidad, en sujetos cuya actividad colisiona con el Código Penal, sería uno de los supuestos en el que se puede plantear la modificación de la responsabilidad penal.

Los rasgos de personalidad, siguiendo el *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales*, son patrones persistentes de formas de percibir,

relacionarse y pensar sobre el entorno y sobre uno mismo que se ponen de manifiesto en una amplia gama de contextos sociales y personales; sólo constituyen trastornos cuando son inflexibles y desadaptativos y cuando causan un deterioro funcional significativo y un malestar subjetivo.

Las personas afectas de un trastorno de la personalidad, según el manual DSM-IV TR, deben presentar los siguientes patrones:

- A. Un patrón permanente de experiencia interna y de comportamiento que se aparta acusadamente de las expectativas de la cultura del sujeto. Este patrón se manifiesta en 2 (o más) de las áreas siguientes:
 - 1. Cognición (formas de percibir e interpretarse a uno mismo, a los demás y a los acontecimientos)
 - 2. Afectividad (gama, intensidad, labilidad y adecuación de la respuesta emocional)
 - 3. Actividad interpersonal
 - 4. Control de los impulsos
- B. Este patrón persistente es inflexible y se extiende a una amplia gama de situaciones personales y sociales.
- C. Este patrón persistente provoca malestar clínicamente significativo o deterioro social, laboral o de otras áreas importantes de la actividad del individuo.
- D. El patrón es estable y de larga duración, y su inicio se remonta al menos a la adolescencia o al principio de la edad adulta.
- E. El patrón persistente no es atribuible a una manifestación o a una consecuencia de otro trastorno mental.
- F. El patrón persistente no es debido a los efectos fisiológicos directos de una sustancia (como una droga o un medicamento) ni a una enfermedad médica (por ejemplo, un traumatismo craneal).

Existen diversos tipos de trastornos de la personalidad, que reseñaremos, aplicando los criterios del *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales*.

1. TRASTORNO PARANOIDE DE LA PERSONALIDAD

- A. Desconfianza y suspicacia general desde el inicio de la edad adulta, de forma que las intenciones de los demás son interpretadas como maliciosas, que aparecen en diversos contextos, como lo indican 4 (o más) de los siguientes puntos:
 - 1. Sospecha, sin base suficiente, que los demás se van a aprovechar de ellos, les van a hacer daño o les van a engañar

2. Preocupación por dudas no justificadas acerca de la lealtad o la fidelidad de los amigos y socios
 3. Reticencia a confiar en los demás por temor injustificado a que la información que compartan vaya a ser utilizada en su contra
 4. En las observaciones o los hechos más inocentes vislumbra significados ocultos que son degradantes o amenazadores
 5. Alberga rencores durante mucho tiempo, por ejemplo, no olvida los insultos, injurias o desprecios
 6. Percibe ataques a su persona o a su reputación que no son aparentes para los demás y está predispuesto a reaccionar con ira o a contraatacar
 7. Sospecha repetida e injustificadamente que su cónyuge o su pareja le es infiel
- B. Estas características no aparecen exclusivamente en el transcurso de una esquizofrenia, un trastorno del estado de ánimo con síntomas psicóticos u otro trastorno psicótico y no son debidas a los efectos fisiológicos directos de una enfermedad médica.

2. TRASTORNO ESQUIZOIDE DE LA PERSONALIDAD

- A. Un patrón general de distanciamiento de las relaciones sociales y de restricción de la expresión emocional en el plano interpersonal, que comienza al principio de la edad adulta y se da en diversos contextos, como lo indican 4 (o más) de los siguientes puntos:
1. Ni desea ni disfruta de las relaciones personales, incluido el formar parte de una familia
 2. Escoge casi siempre actividades solitarias
 3. Tiene escaso o ningún interés en tener experiencias sexuales con otra persona
 4. Disfruta con pocas o ninguna actividad
 5. No tiene amigos íntimos o personas de confianza, aparte de los familiares de primer grado
 6. Se muestra indiferente a los halagos o las críticas de los demás
 7. Muestra frialdad emocional, distanciamiento o aplanamiento de la afectividad
- B. Estas características no aparecen exclusivamente en el transcurso de una esquizofrenia, un trastorno del estado de ánimo con síntomas psicóticos u otro trastorno psicótico y no son debidas a los efectos fisiológicos directos de una enfermedad médica.

3. TRASTORNO ESQUIZOTÍPICO DE LA PERSONALIDAD

- A. Un patrón general de déficits sociales e interpersonales asociados a malestar agudo y a una capacidad reducida para las relaciones personales, así como distorsiones cognoscitivas o perceptivas y excentricidades del comportamiento, que comienzan al principio de la edad adulta y se dan en diversos contextos, como lo indican 5 (o más) de los siguientes puntos:
1. Ideas de referencia (excluidas las ideas delirantes de referencia)
 2. Creencias raras o pensamiento mágico que influye en el comportamiento y no es consistente con las normas subculturales (superstición, creer en la clarividencia, telepatía o sexto sentido; en niños y adolescentes, fantasías o preocupaciones extrañas)
 3. Experiencias perceptivas inhabituales, incluidas las ilusiones corporales
 4. Pensamiento y lenguaje raros (vago, circunstancial, metafórico, sobreelaborado o estereotipado)
 5. Susplicacia o ideación paranoide
 6. Afectividad inapropiada o restringida
 7. Comportamiento o apariencia raros, excéntricos o peculiares
 8. Falta de amigos íntimos o desconfianza, aparte de los familiares de primer grado
 9. Ansiedad social excesiva que no disminuye con la familiarización y que tiende a asociarse con los temores paranoides más que con juicios negativos sobre uno mismo
- B. Estas características no aparecen exclusivamente en el transcurso de una esquizofrenia, un trastorno del estado de ánimo con síntomas psicóticos u otro trastorno psicótico o de un trastorno generalizado del desarrollo.

4. TRASTORNO ANTISOCIAL DE LA PERSONALIDAD

- A. Un patrón general de desprecio y violación de los derechos de los demás que se presenta desde la edad de 15 años, como lo indican 3 (o más) de los siguientes ítems:
1. Fracaso para adaptarse a las normas sociales en lo que respecta al comportamiento legal, como lo indica el perpetrar repetidamente actos que son motivo de detención
 2. Deshonestidad, indicada por mentir repetidamente, utilizar un alias, estafar a otros para obtener un beneficio personal o por placer
 3. Impulsividad o incapacidad para planificar el futuro
 4. Irritabilidad y agresividad, indicados por peleas físicas repetidas o agresiones

5. Despreocupación imprudente por su seguridad o la de los demás
 6. Irresponsabilidad persistente, indicada por la incapacidad de mantener un trabajo con constancia o de hacerse cargo de obligaciones económicas
 7. Falta de remordimientos, como lo indica la indiferencia o la justificación del haber dañado, maltratado o robado a otros
- B. El sujeto tiene al menos 18 años.
- C. Existen pruebas de un trastorno disocial que comienza antes de la edad de 15 años.
- D. El comportamiento antisocial no aparece exclusivamente en el transcurso de una esquizofrenia o un episodio maniaco.

5. TRASTORNO LÍMITE DE LA PERSONALIDAD

Un patrón general de inestabilidad en las relaciones interpersonales, la autoimagen y la efectividad, y una notable impulsividad, que comienzan al principio de la edad adulta y se dan en diversos contextos, como lo indican 5 (o más) de los siguientes apartados:

1. Esfuerzos frenéticos para evitar un abandono real o imaginado. (Nota: no incluir los comportamientos suicidas o de automutilación que se recogen en el criterio 5)
2. Un patrón de relaciones interpersonales inestables e intensas caracterizado por la alternancia entre los extremos de idealización y devaluación
3. Alteración de la identidad: autoimagen o sentido de sí mismo acusada y persistentemente inestable
4. Impulsividad en al menos 2 áreas, que es potencialmente dañina para sí mismo (gastos, sexo, abuso de sustancias, conducción temeraria, atracones de comida...). (Nota: no incluir los comportamientos suicidas o de automutilación que se recogen en el criterio 5)
5. Comportamientos, intentos o amenazas suicidas recurrentes, o comportamiento de automutilación
6. Inestabilidad afectiva debida a una notable reactividad del estado de ánimo (episodios de intensa disforia, irritabilidad o ansiedad, que suelen durar unas horas y rara vez unos días, etc.)
7. Sentimientos crónicos de vacío
8. Ira inapropiada e intensa o dificultades para controlar la ira (muestras frecuentes de mal genio, enfado constante o peleas físicas recurrentes)
9. Ideación paranoide transitoria relacionada con el estrés o síntomas disociativos graves

6. TRASTORNO HISTRIÓNICO DE LA PERSONALIDAD

Un patrón general de excesiva emotividad y una búsqueda de atención, que empiezan al principio de la edad adulta y que se dan en diversos contextos, como lo indican 5 (o más) de los siguientes ítems:

1. No se siente cómodo en las situaciones en las que no es el centro de la atención
2. La interacción con los demás suele estar caracterizada por un comportamiento sexualmente seductor o provocador
3. Muestra una expresión emocional superficial y rápidamente cambiante
4. Utiliza permanentemente el aspecto físico para llamar la atención sobre sí mismo
5. Tiene una forma de hablar excesivamente subjetiva y carente de matices
6. Muestra autodramatización, teatralidad y exagerada expresión emocional
7. Es sugestionable, por ejemplo, fácilmente influenciado por los demás o por las circunstancias
8. Considera sus relaciones más íntimas de lo que son en realidad

7. TRASTORNO NARCISISTA DE LA PERSONALIDAD

Un patrón general de grandiosidad (en la imaginación o en el comportamiento), una necesidad de admiración y una falta de empatía, que empiezan al principio de la edad adulta y que se dan en diversos contextos como lo indican 5 (o más) de los siguientes ítems:

1. Tiene un grandioso sentido de autoimportancia (exagera los logros y capacidades, espera ser reconocido como superior sin unos logros proporcionados...)
2. Está preocupado por fantasías de éxito ilimitado, poder, brillantez, belleza o amor imaginarios
3. Cree que es especial y único y que sólo puede ser comprendido por, o sólo puede relacionarse con otras personas (o instituciones) que son especiales o de alto estatus
4. Exige una admiración excesiva
5. Es muy pretencioso, por ejemplo, expectativas irrazonables de recibir un trato de favor especial o de que se cumplan automáticamente sus expectativas
6. Es interpersonalmente explotador, por ejemplo, saca provecho de los demás para alcanzar sus propias metas
7. Carece de empatía: es reacio a reconocer o identificarse con los sentimientos y necesidades de los demás

8. Frecuentemente envidia a los demás o cree que los demás le envidian a él
9. Presenta comportamientos o actitudes arrogantes o soberbios

8. TRASTORNO DE LA PERSONALIDAD POR EVITACIÓN

Un patrón general de inhibición social, unos sentimientos de inferioridad y una hipersensibilidad a la evaluación negativa, que comienzan al principio de la edad adulta y se dan en diversos contextos, como lo indican 4 (o más) de los siguientes puntos:

1. Evita trabajos o actividades que impliquen un contacto interpersonal importante debido al miedo a las críticas, la desaprobación o el rechazo
2. Es reacio a implicarse con la gente si no está seguro de que va a agradar
3. Demuestra represión en las relaciones íntimas debido al miedo a ser avergonzado o ridiculizado
4. Está preocupado por la posibilidad de ser criticado o rechazado en las situaciones sociales
5. Está inhibido en las situaciones interpersonales nuevas a causa de sentimientos de inferioridad.
6. Se ve a sí mismo socialmente inepto, personalmente poco interesante o inferior a los demás
7. Es extremadamente reacio a correr riesgos personales o a implicarse en nuevas actividades debido a que pueden ser comprometedoras

9. TRASTORNO DE LA PERSONALIDAD POR DEPENDENCIA

Una necesidad general y excesiva de que se ocupen de uno, que ocasiona un comportamiento de sumisión, adhesión y temores de separación, que empieza al inicio de la edad adulta y se da en varios contextos, como lo indican 5 (o más) de los siguientes ítems:

1. Tiene dificultades para tomar las decisiones cotidianas si no cuenta con un excesivo aconsejamiento y reafirmación por parte de los demás
2. Necesidad de que otros asuman la responsabilidad en las principales parcelas de su vida
3. Tiene dificultades para expresar el desacuerdo con los demás debido al temor a la pérdida de apoyo o aprobación. (Nota: no se incluyen los temores o la retribución realistas)
4. Tiene dificultades para iniciar proyectos o para hacer las cosas a su manera (debido a la falta de confianza en su propio juicio o en sus capacidades más que a una falta de motivación o de energía)

5. Va demasiado lejos llevado por su deseo de lograr protección y apoyo de los demás, hasta el punto de presentarse voluntario para realizar tareas desagradables
6. Se siente incómodo o desamparado cuando está solo debido a sus temores exagerados a ser incapaz de cuidar de sí mismo
7. Cuando termina una relación importante, busca urgentemente otra relación que le proporcione el cuidado y el apoyo que necesita
8. Está preocupado de forma no realista por el miedo a que le abandonen y tenga que cuidar de sí mismo

10. TRASTORNO OBSESIVO-COMPULSIVO DE LA PERSONALIDAD

Un patrón general de preocupación por el orden, el perfeccionismo y el control mental e interpersonal, a expensas de la flexibilidad, la espontaneidad y la eficiencia, que empieza al principio de la edad adulta y se da en diversos contextos, como lo indican 4 (o más) de los siguientes apartados:

1. Preocupación por los detalles, las normas, las listas, el orden, la organización o los horarios, hasta el punto de perder de vista el objeto principal de la actividad
2. Perfeccionismo que interfiere con la finalización de las tareas (por ejemplo, es incapaz de acabar un proyecto porque no cumple sus propias exigencias, que son demasiado estrictas)
3. Dedicación excesiva al trabajo y a la productividad con exclusión de las actividades de ocio y las amistades (no atribuible a necesidades económicas evidentes)
4. Excesiva terquedad, escrupulosidad e inflexibilidad en temas de moral, ética o valores (no atribuible a la identificación con la cultura o la religión)
5. Incapacidad para tirar los objetos gastados o inútiles, incluso cuando no tienen un valor sentimental
6. Es reacio a delegar tareas o trabajo en otros, a no ser que éstos se sometan exactamente a su manera de hacer las cosas
7. Adopta un estilo avaro en los gastos para él y para los demás; el dinero se considera algo que hay que acumular con vistas a catástrofes futuras
8. Muestra rigidez y obstinación

11. CRIMINALIDAD DE LOS TRASTORNOS DE LA PERSONALIDAD

Las personas afectas de estos trastornos suelen cometer frecuentemente ilícitos penales, pero ni todos los psicópatas son delincuentes, ni, en el caso de delinquir, cometen siempre el mismo tipo de hechos delictivos.

Para Birnbaum, sería característica la diversidad de delitos realizados, su reiteración y su comprensibilidad.

Al ser sujetos indolentes, vagos y tendentes a la satisfacción, corren con gastos excesivos que finalizan en la ruina económica y, al emprender nuevos negocios, igualmente ruinosos al no tener la capacitación y carecer de la mínima autocrítica, terminan rindiendo cuentas ante la ley. Los intentos de conseguir medios de cualquier forma les llevan a cometer estafas de diversos tipos. Por su propia superficialidad, son víctimas de halagos y engaños. El fracaso social subsiguiente les puede llevar al consumo de alcohol y sustancias de abuso. Por su necesidad de búsqueda del placer, y por las desviaciones instintivas, son los máximos candidatos a las perversiones sexuales.

Suelen presentar reincidencia en hechos delictivos, que son de diversos tipos. En ocasiones se buscan secuaces con déficits intelectuales.

No es habitual que cometan delitos de los más penados (homicidios), al conocer el alcance de los hechos pero, si lo hacen, es con premeditación, frialdad, ensañamiento y, por su inteligencia, intentando conseguir la impunidad.

En principio, los psicópatas no presentan alteraciones de la imputabilidad, por lo que se aplicaría el Código Penal sin atenuaciones, si bien debe realizarse un estudio psiquiátrico-forense en cada caso por si hubiese alguna alteración volitiva concomitante.

TOXICOMANÍAS

Hay que tener presente la importancia penal de la drogodependencia. Una persona es imputable cuando se le pueden atribuir sus acciones, condición imprescindible para la culpabilidad. De forma clásica establecemos que la imputabilidad tiene dos elementos básicos que son la inteligencia y la voluntad. Es imputable aquel que mantiene íntegras las capacidades de entender y de querer. Por eso la imputabilidad es un concepto jurídico pero sus bases son psicobiológicas y para que el jurista pueda establecer la imputabilidad necesita el informe del perito.

El artículo 20 de la Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal, considera las circunstancias que eximen de responsabilidad criminal:

1. El que al tiempo de cometer la infracción penal, a causa de cualquier anomalía o alteración psíquica, no pueda comprender la ilicitud del hecho o actuar conforme a esa comprensión. El trastorno mental transitorio no eximirá de pena cuando hubiese sido provocado por el sujeto con el propósito de cometer el delito o hubiera previsto o debido prever su comisión.
2. El que al tiempo de cometer la infracción penal se halle en estado de intoxicación plena por el consumo de bebidas alcohólicas, drogas tóxicas, estupefacentes, sustancias psicotrópicas u otras que produzcan efectos análogos, siempre que no haya sido buscado con el propósito de cometerla

o no se hubiese previsto o debido prever su comisión, o se halle bajo la influencia de un síndrome de abstinencia, a causa de su dependencia de tales sustancias, que le impida comprender la ilicitud del hecho o actuar conforme a esa comprensión.

3. El que, por sufrir alteraciones en la percepción desde el nacimiento o desde la infancia, tenga alterada gravemente la conciencia de la realidad [...].

Por otra parte, en el artículo 21 se consideran las circunstancias atenuantes:

1. Las causa expresadas en el capítulo anterior, cuando no concurrieren todos los requisitos necesarios para eximir de responsabilidad en los respectivos casos.
2. La de actuar el culpable a causas de su grave adicción a las sustancias mencionadas en el número 2º del artículo anterior [...].

La valoración que hace nuestro Código Penal respecto de la imputabilidad es, en resumen, la siguiente: cuando una persona es imputable le aplica la pena correspondiente, según el precepto infringido y las reglas generales del mismo. Cuando estima que una persona es semi-imputable, disminuye la pena y prevé la posible aplicación de una medida de seguridad. Cuando estima que una persona es inimputable no le aplica ninguna pena, es decir le absuelve, y le aplica las medidas de seguridad pertinentes.

Hay que tener en cuenta que la drogodependencia en sí misma puede ser irrelevante y lo que interesa jurídicamente es la determinación de la situación del sujeto en el momento de cometer los hechos.

En relación con las drogodependencias, el Código Penal establece tres posibilidades de aplicación de circunstancias que eximen de responsabilidad criminal:

1. La intoxicación plena.
2. El síndrome de abstinencia.
3. Psicosis tóxicas o demencias orgánicas.

Cualquiera de estas situaciones debe ser lo suficientemente intensas como para provocar una anulación de su capacidad para comprender la ilicitud del hecho o actuar conforme a esa comprensión. En este sentido resulta muy difícil encontrar casos en los que se den estos requisitos de forma completa.

Con respecto a las circunstancias que atenúan, en relación con las drogodependencias, hay que decir que cualquier afectación incompleta puede ser utilizada para disminuir la pena y, por otra parte, según el apartado 2º, la mera acreditación de la adicción calificada como grave puede facilitar una atenuante.

En este sentido podemos decir que resulta relativamente fácil conseguir una atenuante al diagnosticar de grave una adicción.

Por todo ello, en el momento del reconocimiento el médico forense debe contemplar, en su informe, por un lado los aspectos que puede necesitar el juez

para tomar las medidas inmediatas y, por otra, los necesarios en la fase de juicio oral para aplicar, en su caso, en la sentencia, las circunstancias modificadoras de la responsabilidad criminal.

Para cumplir estos objetivos, en los casos de drogodependientes, se deben contestar las siguientes cuestiones:

- a) ¿El reconocido es dependiente de alguna sustancia o grupo de sustancias?
- b) ¿Presenta un cuadro de síndrome de abstinencia y de qué grado?
- c) ¿Puede prestar declaración?
- d) ¿Necesita tratamiento específico?
- e) ¿Tiene afectadas las bases biológicas de la imputabilidad?

La importancia de estos dictámenes es evidente ya que sirven de base para la aplicación, en su caso, de las circunstancias eximentes o atenuantes cuando se hallan modificadas las bases biológicas de la imputabilidad.

Las conclusiones a las que se debe llegar, y que se plasmarán en el informe médico-forense, son:

1. El reconocido presenta una historia de consumo de X años de evolución.
2. En el momento de la exploración sí/no presenta un cuadro de síndrome de abstinencia a...
3. Sí/no requiere tratamiento médico de urgencias.
4. En este momento sí/no se observan alteraciones psicopatológicas.
5. La historia clínica es compatible sí/no con una dependencia en fase de...

El Ministerio de Justicia emitió la Orden Ministerial, de 16 de noviembre de 1997: Protocolo médico-forense de reconocimiento de detenidos, de obligado cumplimiento en los reconocimientos a detenidos, cuyo informe es de carácter confidencial. En el apartado «Hábitos tóxicos» deben reseñarse las sustancias consumidas en los últimos 30 días (periodo en el que hubiesen podido tener influencia en la comisión del delito). Los apartados fundamentales, recogidos según manifieste el propio detenido, serían:

- Tiempo de consumo
- Vía de administración
- Dosis media diaria en gramos
- Fraccionamiento
- Último consumo (las manifestaciones del síndrome de abstinencia dependerán del tiempo transcurrido desde el último consumo)
- Situación en el momento de la exploración
- Administración de fármacos (la toma de determinada medicación en las últimas horas puede modificar los signos y síntomas)

- Medicación en los últimos 30 días (cuya privación puede producir determinados cuadros clínicos)

Tras la anamnesis, debe realizarse una exploración general completa.

1. CRITERIOS PARA DETECTAR LA DEPENDENCIA, ABUSO E INTOXICACIÓN

El manual DSM-IV TR recoge en cuanto a dependencia, abuso e intoxicación de sustancias:

1.1 *Criterios para la dependencia de sustancias*

Un patrón desadaptativo de consumo de la sustancia que conlleva un deterioro o malestar clínicamente significativos, expresado por 3 (o más) de los ítems siguientes en algún momento de un periodo continuado de 12 meses:

1. Tolerancia, definida por cualquiera de los siguientes puntos:
 - a) Una necesidad de cantidades marcadamente crecientes de la sustancia para conseguir la intoxicación o el efecto deseado
 - b) El efecto de las mismas cantidades de sustancia disminuye claramente con su consumo continuado
2. Abstinencia, definida por cualquiera de los siguientes apartados:
 - a) El síndrome de abstinencia característico para la sustancia (ver criterios A y B de los criterios diagnósticos para la abstinencia de sustancias específicas)
 - b) Se toma la misma sustancia (o una muy parecida) para aliviar o evitar los síntomas de abstinencia
3. La sustancia es tomada con frecuencia en cantidades mayores o durante un periodo más largo de lo que inicialmente se pretendía
4. Existe un deseo persistente o esfuerzos infructuosos de controlar o interrumpir el consumo de la sustancia
5. Se emplea mucho tiempo en actividades relacionadas con la obtención de la sustancia (visitar a varios médicos o desplazarse largas distancias), en su consumo (por ejemplo, fumar un cigarrillo tras otro) o en la recuperación de los efectos de la misma
6. Reducción de importantes actividades sociales, laborales o recreativas debido al consumo de la sustancia
7. Se continúa tomando la sustancia a pesar de tener conciencia de problemas psicológicos o físicos recidivantes o persistentes, que parecen causados o exacerbados por el consumo de la sustancia (consumo de la cocaína a pesar de saber que provoca depresión o continuada ingesta de alcohol a pesar de que empeora una úlcera)

1.2 Criterios para el abuso de sustancias

- A. Un patrón desadaptativo de consumo de sustancias que conlleva un deterioro o malestar clínicamente significativos, expresado por 1 (o más) de los ítems siguientes durante un periodo de 12 meses:
 - 1. Consumo recurrente de sustancias, que da lugar al incumplimiento de obligaciones en el trabajo, la escuela o en casa (ausencias repetidas o rendimiento pobre relacionados con el consumo de sustancias; ausencias, suspensiones o expulsiones de la escuela relacionadas con la sustancia; descuido de los niños o de las obligaciones de la casa, etc.)
 - 2. Consumo recurrente de la sustancia en situaciones en las que hacerlo es físicamente peligroso (por ejemplo, conducir un automóvil o accionar una máquina bajo los efectos de la sustancia)
 - 3. Problemas legales repetidos relacionados con la sustancia (por ejemplo, arrestos por comportamiento escandaloso debido a la sustancia)
 - 4. Consumo continuado de la sustancia, a pesar de tener problemas sociales continuos o recurrentes o problemas interpersonales causados o exacerbados por los efectos de la sustancia (discusiones con la esposa acerca de las consecuencias de la intoxicación, o violencia física)
- B. Los síntomas no han cumplido nunca los criterios para la dependencia de sustancias de esta clase de sustancia.

1.3 Criterios para la intoxicación por sustancias

- A. Presencia de un síndrome reversible específico de una sustancia debido a su ingestión reciente (o a su exposición). Hay que señalar que diferentes sustancias pueden producir síndromes idénticos o similares.
- B. Cambios psicológicos o comportamentales desadaptativos clínicamente significativos debidos al efecto de la sustancia sobre el sistema nervioso central (irritabilidad, labilidad emocional, deterioro cognoscitivo, deterioro de la capacidad de juicio, deterioro de la actividad laboral o social, etc.), que se presentan durante el consumo de la sustancia o poco tiempo después.
- C. Los síntomas no se deben a una enfermedad médica y no se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

1.4 Criterios para la abstinencia de sustancias

- A. Presencia de un síndrome específico de una sustancia debido al cese o reducción de su consumo prolongado y en grandes cantidades.
- B. El síndrome específico de la sustancia causa un malestar clínicamente significativo o un deterioro de la actividad laboral y social o en otras áreas importantes de la actividad del individuo.

- C. Los síntomas no se deben a una enfermedad médica y no se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

2. TRASTORNOS RELACIONADOS CON OPIÁCEOS

En nuestra experiencia, los de mayor relevancia por su frecuencia e intensidad.

2.1 *Intoxicación por opiáceos*

- A. Consumo reciente de un opiáceo.
- B. Cambios psicológicos o comportamentales desadaptativos clínicamente significativos (euforia inicial seguida de apatía, disforia, agitación o inhibición psicomotoras, alteración de la capacidad de juicio o deterioro social o laboral) que aparecen durante o poco tiempo después del consumo de opiáceos.
- C. Miosis (o midriasis por anoxia en la intoxicación grave) y 1 (o más) de los siguientes signos, que aparecen durante o poco tiempo después del consumo de opiáceos:
 - 1. Somnolencia o coma
 - 2. Lenguaje farfullante
 - 3. Deterioro de la atención o de la memoria
- D. Los síntomas no son debidos a una enfermedad médica ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

2.2 *Abstinencia de opiáceos*

- A. alguna de las siguientes posibilidades:
 - 1. Interrupción (o disminución) de un consumo abundante y prolongado (varias semanas o más) de opiáceos
 - 2. Administración de un antagonista opiáceo después de un periodo de consumo de opiáceos
- B. 3 (o más) de los siguientes signos y síntomas, que aparecen de pocos minutos a varios días después del criterio A:
 - 1. Humor disfórico
 - 2. Náuseas o vómitos
 - 3. Dolores musculares
 - 4. Lagrimeo o rinorrea
 - 5. Dilatación pupilar, piloerección o sudoración
 - 6. Diarrea

- 7. Bostezos
- 8. Fiebre
- 9. Insomnio
- C. Los síntomas del criterio B provocan malestar clínicamente significativo o deterioro social, laboral o de otras áreas importantes de la actividad del individuo.
- D. Los síntomas no son debidos a enfermedad médica ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

2.3 Otros trastornos inducidos por opiáceos

- Delirium por intoxicación por opiáceos
- Trastorno psicótico inducido por opiáceos: con ideas delirantes, con alucinaciones...

2.4 Protocolo del Plan Nacional Antidroga

En relación a los consumos, se pueden recoger los datos objetivados sobre consumo de opiáceos, según el Protocolo del Plan Nacional Antidroga. Se clasifican, según intensidad, entre 0-ninguno y 4-máximo. El listado de los mismos, en 4 grados, recoge la cronología más habitual de su aparición, aunque se pueden presentar de forma diferente o faltar alguno de los mismos; cuando coexisten síntomas de varios grupos, suelen ser más intensos los de menor gradación. El síndrome de abstinencia a opiáceos se presenta exclusivamente en personas que han desarrollado dependencia. La intensidad y tipo de síntomas depende de diversos factores, como las dosis administradas, vía empleada, concomitancia con otros consumos, presencia de enfermedades somáticas, expectativas de resolución del problema, personalidad del dependiente, etc. El síndrome de abstinencia a la heroína comienza a las 6-12 horas después del último consumo, alcanzando el máximo a las 24-48 horas, y disminuyendo progresivamente hasta los 6-10 días.

Protocolo del PNA:

- Presencia de venipunturas, y datación de las mismas (recientes o no)
- Grado 1: ansiedad, bostezos, sudoración, lagrimeo, rinorrea
- Grado 2: midriasis, piloerección, temblores, escalofríos
- Grado 3: hipertensión, hipertermia, excursiones respiratorias, inquietud locomotora y agitación, taquicardia, náuseas
- Grado 4: vómitos, diarrea, eyaculación espontánea

Estos datos nos permitirán concluir sobre la existencia de una dependencia en concordancia con el grado de síndrome de abstinencia.

3. TRASTORNOS RELACIONADOS CON EL ALCOHOL

3.1 *Intoxicación por alcohol*

- A. Ingestión reciente de alcohol.
- B. Cambios psicológicos comportamentales desadaptativos clínicamente significativos (sexualidad inapropiada, comportamiento agresivo, labilidad emocional, deterioro de la capacidad de juicio y deterioro de la actividad laboral o social) que se presentan durante la intoxicación o pocos minutos después de la ingesta de alcohol.
- C. 1 o más de los siguientes síntomas que aparecen durante o poco tiempo después del consumo de alcohol:
 - 1. Lenguaje farfullante
 - 2. Incoordinación
 - 3. Marcha inestable
 - 4. Nistagmo
 - 5. Deterioro de la atención o de la memoria
 - 6. Estupor o coma
- D. Los síntomas no se deben a enfermedad médica ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

3.2 *Abstinencia de alcohol*

- A. Interrupción (o disminución) del consumo de alcohol después de su consumo prolongado y en grandes cantidades.
- B. 2 o más de los siguientes síntomas desarrollados horas o días después de cumplirse el criterio A:
 - 1. Hiperactividad autonómica (por ejemplo, sudoración o más de 100 pulsaciones)
 - 2. Temblor distal de las manos
 - 3. Insomnio
 - 4. Náuseas o vómitos
 - 5. Alucinaciones visuales, táctiles o auditivas transitorias, o ilusiones
 - 6. Agitación psicomotora
 - 7. Ansiedad
 - 8. Crisis comiciales de gran mal (crisis epilépticas)
- C. Los síntomas del criterio B provocan un malestar clínicamente significativo o un deterioro de la actividad social laboral, o de otras áreas importantes de la actividad del sujeto.
- D. Los síntomas no se deben a enfermedad médica ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

3.3 Otros trastornos inducidos por el alcohol

- Delirium por intoxicación de alcohol
- Demencia persistente inducida por alcohol
- Trastorno psicótico inducido por alcohol: con ideas delirantes o con alucinaciones

4. TRASTORNOS RELACIONADOS CON ALUCINÓGENOS

4.1 Intoxicación por alucinógenos

- A. Consumo reciente de un alucinógeno.
- B. Cambios psicológicos y comportamentales desadaptativos clínicamente significativos (ansiedad o depresión marcadas, ideas de referencia, miedo a perder el control, ideaciones paranoides, deterioro del juicio o de la actividad social o laboral, etc.) que aparecen durante o poco tiempo después del consumo del alucinógeno.
- C. Cambios perceptivos que tienen lugar en un estado de alerta y vigilia totales (intensificación subjetiva de las percepciones, despersonalización, desrealización, ilusiones, alucinaciones, sinestesias...) que aparecen durante o poco tiempo después del consumo de alucinógenos.
- D. 2 (o más) de los siguientes signos que aparecen durante o poco tiempo después del consumo de alucinógenos:
 1. Dilatación pupilar
 2. Taquicardia
 3. Sudoración
 4. Palpitaciones
 5. Visión borrosa
 6. Temblores
 7. Incoordinación
- E. Los síntomas no son debidos a enfermedad médica ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

4.2 Trastorno perceptivo persistente por alucinógenos (flashback)

- A. Reexperimentación, después del cese del consumo de alucinógenos, de 1 o más síntomas perceptivos que ya se experimentaron en la intoxicación por el alucinógeno (alucinaciones geométricas, percepciones falsas de movimiento en los campos visuales periféricos, flases de color, intensificación de los colores, estelas en las imágenes de objetos en movimiento, postimágenes positivas, halos alrededor de los objetos, macropsia y micropsia).

- B. Los síntomas del criterio A provocan malestar clínicamente significativo o deterioro social, laboral o de otras áreas importantes de la actividad del sujeto.
- C. Los síntomas no son debidos a enfermedad médica (lesiones anatómicas e infecciones del cerebro, epilepsias visuales, etc.) ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental (como delirium, demencia o esquizofrenia) o por alucinaciones hipnopómpicas.

4.3 Otros trastornos inducidos por alucinógenos

- Delirium por intoxicación por alucinógenos
- Trastorno psicótico inducido por alucinógenos: con ideas delirantes o con alucinaciones

5. TRASTORNOS RELACIONADOS CON ANFETAMINAS (O SUSTANCIAS DE ACCIÓN SIMILAR)

5.1 Intoxicación por anfetamina

- A. Consumo reciente de anfetamina o sustancias afines (por ejemplo, metilfenidato).
- B. Cambios psicológicos o comportamentales desadaptativos clínicamente significativos (euforia o embotamiento afectivo; cambios de la sociabilidad; hipervigilancia; sensibilidad interpersonal; ansiedad, tensión o cólera; comportamiento estereotipado; deterioro de la capacidad de juicio o de la actividad social o laboral, etc.) que aparecen durante o poco tiempo después del consumo de anfetamina o sustancias afines.
- C. 2 (o más) de los siguientes signos y síntomas, que aparecen durante o poco tiempo después del consumo de anfetaminas o sustancias afines:
 1. Taquicardia o bradicardia
 2. Dilatación pupilar
 3. Tensión arterial aumentada o disminuida
 4. Sudoración o escalofríos
 5. Náuseas o vómitos
 6. Pérdida de peso demostrable
 7. Agitación o retraso psicomotores
 8. Debilidad muscular, depresión respiratoria, dolor en el pecho o arritmias cardíacas
 9. Confusión, crisis comiciales, discinesias, distonías o coma
- D. Los síntomas no se deben a una enfermedad médica y no se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

5.2 *Abstinencia de anfetamina*

- A. Interrupción (o disminución) del consumo de anfetamina (o sustancias afines) después de su consumo prolongado y en grandes cantidades.
- B. Estado de ánimo disfórico y 2 (o más) de los siguientes cambios fisiológicos, que aparecen horas o días después del criterio A:
 - 1. Fatiga
 - 2. Sueños vividos y desagradables
 - 3. Insomnio o hipersomnia
 - 4. Aumento del apetito
 - 5. Retraso o agitación psicomotores
- C. Los síntomas del criterio B causan un malestar clínicamente significativo o un deterioro laboral o social, o de otras áreas importantes de la actividad del individuo.
- D. Los síntomas no son debidos a enfermedad médica ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

5.3 *Otros trastornos inducidos por anfetaminas*

- Delirium por intoxicación por anfetamina
- Trastorno psicótico inducido por anfetamina

6. TRASTORNOS RELACIONADOS CON CANNABIS

6.1 *Intoxicación por cannabis*

- A. Consumo reciente de cannabis.
- B. Cambios psicológicos o comportamentales desadaptativos clínicamente significativos (deterioro de la coordinación motora, euforia, ansiedad, sensación de que el tiempo transcurre lentamente, deterioro de la capacidad de juicio, retraimiento social, etc.) que aparecen durante o poco tiempo después del consumo de cannabis.
- C. 2 (o más) de los siguientes síntomas que aparecen a las 2 horas del consumo de cannabis:
 - 1. Inyección conjuntival
 - 2. Aumento de apetito
 - 3. Sequedad de boca
 - 4. Taquicardia
- D. Los síntomas no son debidos a enfermedad médica ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

6.2 Otros trastornos inducidos por cannabis

- Delirium por intoxicación por cannabis
- Trastorno psicótico inducido por cannabis: con ideas delirantes o con alucinaciones

7. TRASTORNOS RELACIONADOS CON COCAÍNA

7.1 Intoxicación por cocaína

- A. Consumo reciente de cocaína.
- B. Cambios psicológicos o comportamentales desadaptativos clínicamente significativos (euforia o afectividad embotada; aumento de la sociabilidad; hipervigilancia; sensibilidad interpersonal; ansiedad; tensión o cólera; comportamientos estereotipados; deterioro de la capacidad de juicio o de la actividad laboral o social, etc.) que se presentan durante, o poco tiempo después, del consumo de cocaína.
- C. 2 o más de los siguientes signos, que aparecen durante o poco tiempo después del consumo de cocaína:
 1. Taquicardia o bradicardia
 2. Dilatación pupilar
 3. Aumento o disminución de la tensión arterial
 4. Sudoración o escalofríos
 5. Náuseas o vómitos
 6. Pérdida de peso demostrable
 7. Agitación o retraso psicomotores
 8. Debilidad muscular, depresión respiratoria, dolor en el pecho o arritmias cardíacas
 9. Confusión, crisis comiciales, discinesias, distonías o coma
- D. Los síntomas no se deben a enfermedad médica si se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

7.2 Abstinencia de cocaína

- A. Interrupción (o disminución) del consumo prolongado de abundantes cantidades de cocaína.
- B. Estado de ánimo disfórico y 2 (o más) de los siguientes cambios fisiológicos que aparecen pocas horas o días después del criterio A:
 1. Fatiga
 2. Sueños vividos y desagradables

3. Insomnio o hipersomnia
 4. Aumento del apetito
 5. Retraso o agitación psicomotores
- C. Los síntomas del criterio B causan un malestar clínicamente significativo o un deterioro de la actividad laboral, social o de otras áreas importantes de la actividad del sujeto.
- D. Los síntomas no son debidos a enfermedad médica ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

7.3 Otros trastornos inducidos por cocaína

- Delirium por intoxicación por cocaína
- Trastorno psicótico inducido por cocaína: con ideas delirantes o con alucinaciones

8. TRASTORNOS RELACIONADOS CON FENCICLIDINA (O SUSTANCIAS DE ACCIÓN SIMILAR)

8.1 Intoxicación por fenciclidina

- A. Consumo reciente de fenciclidina (o una sustancia de acción similar).
- B. Cambios psicológicos comportamentales desadaptativos clínicamente significativos (beligerancia, heteroagresividad, impulsividad, comportamiento imprevisible, agitación psicomotora, deterioro de la capacidad de juicio o del rendimiento laboral o social, etc.), que aparecen durante o poco tiempo después del consumo de fenciclidina.
- C. 2 (o más) de los siguientes signos que aparecen en la primera hora después del consumo de la sustancia (o antes si es fumada, aspirada o inyectada por vía intravenosa):
1. Nistagmo horizontal o vertical
 2. Hipertensión o taquicardia
 3. Obnubilación o disminución de la sensibilidad al dolor
 4. Ataxia
 5. Disartria
 6. Rigidez muscular
 7. Crisis convulsivas o coma
 8. Hiperacusia
- D. Los síntomas no se deben a enfermedad médica ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

8.2 Otros trastornos inducidos por fenciclidina

- Delirium por intoxicación por fenciclidina
- Trastorno psicótico inducido por fenciclidina: con ideas delirantes o con alucinaciones

9. TRASTORNOS RELACIONADOS CON INHALANTES

9.1 Intoxicación por inhalantes

- A. Consumo reciente intencionado o breve exposición a dosis altas de inhalantes volátiles (excluyendo los gases anestésicos y los vasodilatadores de acción corta).
- B. Cambios psicológicos o comportamentales desadaptativos clínicamente significativos (beligerancia, violencia, apatía, deterioro del juicio, deterioro de las actividades social o laboral, etc.) que aparecen durante o poco tiempo después del consumo o exposición a inhalantes volátiles.
- C. 2 (o más) de los siguientes signos, que aparecen durante o poco tiempo después del consumo o exposición a inhalantes:
 1. Mareo
 2. Nistagmo
 3. Incoordinación
 4. Lenguaje farfullante
 5. Marcha inestable
 6. Letargia
 7. Disminución de los reflejos
 8. Retraso psicomotor
 9. Temblores
 10. Debilidad muscular generalizada
 11. Visión borrosa o diplopía
 12. Estupor o coma
 13. Euforia
- D. Estos síntomas no son debidos a enfermedad médica ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

9.2 Trastornos inducidos por inhalantes

- Delirium por intoxicación por inhalante
- Demencia persistente inducida por inhalantes
- Trastorno psicótico inducido por inhalantes: con ideas delirantes o con alucinaciones

10. TRASTORNOS RELACIONADOS CON SEDANTES, HIPNÓTICOS O ANSIOLÍTICOS

10.1 Intoxicación por sedantes, hipnóticos o ansiolíticos

- A. Consumo reciente de sedantes, hipnóticos o ansiolíticos.
- B. Cambios psicológicos o comportamentales desadaptativos clínicamente significativos (comportamiento sexual inapropiado o comportamiento agresivo, labilidad del estado de ánimo, deterioro de la capacidad de juicio, deterioro de la actividad laboral o social, etc.) que aparecen durante o poco tiempo después del consumo de sedantes, hipnóticos o ansiolíticos.
- C. 1 (o más) de los siguientes signos, que aparecen durante o poco tiempo después del consumo de sedantes, hipnóticos o ansiolíticos:
 - 1. Lenguaje farfullante
 - 2. Incoordinación
 - 3. Marcha inestable
 - 4. Nistagmo
 - 5. Deterioro de la atención o de la memoria
 - 6. Estupor o coma
- D. Los síntomas no se deben a enfermedad médica ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

10.2 Abstinencia de sedantes, hipnóticos o ansiolíticos

- A. Interrupción (o disminución) de un consumo abundante y prolongado de sedantes, hipnóticos o ansiolíticos.
- B. 2 (o más) de los siguientes signos, que aparecen entre algunas horas o días después del criterio A:
 - 1. Hiperactividad autonómica (por ejemplo, sudoración o más de 100 pulsaciones)
 - 2. Aumento del temblor de manos
 - 3. Insomnio
 - 4. Náuseas o vómitos
 - 5. Alucinaciones visuales, táctiles o auditivas transitorias, o ilusiones
 - 6. Agitación psicomotora
 - 7. Ansiedad
 - 8. Crisis comiciales de gran mal (crisis epilépticas)
- C. Los síntomas del criterio B provocan un malestar clínicamente significativo o deterioro social, laboral o de otras áreas importantes de la actividad del individuo.

- D. Los síntomas no son debidos a enfermedad médica ni se explican mejor por la presencia de otro trastorno mental.

10.3 Otros trastornos inducidos por sedantes, hipnóticos o ansiolíticos

- Delirium por intoxicación por sedantes, hipnóticos o ansiolíticos
- Delirium por abstinencia de sedantes, hipnóticos o ansiolíticos
- Demencia persistente inducida por sedantes, hipnóticos o ansiolíticos
- Trastorno amnésico persistente inducido por sedantes, hipnóticos o ansiolíticos
- Trastorno psicótico inducido por sedantes, hipnóticos o ansiolíticos: con ideas delirantes o con alucinaciones

ANTROPOLOGÍA FORENSE. INVESTIGACIÓN CRIMINAL EN RESTOS ÓSEOS

Robledo, M. M. y Sánchez, J. A.

- ACKERMANN, R. R. (1986): «Three-dimensional imaging in forensic anthropology: a test study using the Macintosh». *Journal of Forensic Sciences* 42 (1): 93-99.
- BASS, W. M. (1995): *Human Osteology*. Missouri Archeological Society Inc.
- BASTIAAN, R. J.; DALITZ, G. D.; WOODWARD, C. (1986): «Video Superimposition of Skulls and Photographic Portraits. A next Aid to Identification». *Journal of Forensic Sciences* 31 (4): 1373-1379
- BROTWELL, D. R. (1987): *Desenterrando huesos*. Fondo de Cultura Económica. México.
- CHARMBERLAIN, A. (1994): *Human Remains. Interpreting the past*. University of California.
- FAZEKAS, I. G.; KOSA, F. (1978): *Forensic Fetal Osteology*. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- HELMER, R. P. (1987): «Identification of Cadaver Remains of Josef Mengele». *Journal of Forensic Sciences* 32 (6): 1622-1644.
- HIDELBOLT, C. F.; VANNIER, M. W.; KNAPP, R. H. (1990): «Validation study of skull three dimensional computerized tomography measurements». *American Journal of Physical Anthropology* 82 (3): 283-294
- ISCAN, Y. I.; HELMER, R. P. (1993): *Forensic Analysis of the Skull*. Wiley-Liss. Nueva York.
- ITEN, P. X. (1987): «Identification of Skulls by Video Superimposition». *Journal of Forensic Sciences* 32 (1): 173-188.
- JANTZ, R. L.; OUSLEY, S. D. (1993): *FORDISC 1.0: Personal Computer Forensic Discriminant Functions. User's Guide*. Knoxville TN (USA): Forensic Anthropology Center, Department of Anthropology, University of Tennessee.
- JIMÉNEZ, M. A. (1994): *Estudio Antropológico Físico de la comarca Sierra de Segura*. Tesis doctoral. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.
- KROGMAN, M. W.; ISCAN M. Y. (1986): *The Human Skeleton in Forensic Sciences*. Charles C. Thomas. Springfield.
- LOH, F. C.; CHAO, T. C. (1989): «Skull and Photographic Superimposition: A new approach Using a Second Party's Interpupil Distance to Extrapolate the Magnification Factor». *Journal of Forensic Sciences* 34 (3): 708-713.

- LÓPEZ-NICOLÁS, M.; LUNA, A. (1991): «Application of automatic image analysis (IBAS SYSTEM) to age calculation. Efficiency in the analysis of several teeth from a single subject». *Forensic Sciences International* 50: 195-202.
- MCKENNA, J. J. I. (1988): «A Method of Orientation of Skull and Camera for Use in Forensic Photographic Investigation». *Journal of Forensic Sciences* 33 (3): 751-755.
- MCKENNA, J. J. I.; JABLONSKI, N. G.; FEARNHEAD, R. W. (1984): «A method of Matching Skulls with Photographic Portraits using Landmarks and Measurements of the Dentition». *Journal of Forensic Sciences* 29 (3): 787-797.
- MIYASAKA, S.; YOSHINO, M.; IMAIZUMI, K.; SETA, S. (1995): «The computer-aided facial reconstruction system». *Forensic Sciences International* 74 (1-2): 155-165.
- MOYA, V.; ROLDÁN, B.; SÁNCHEZ, J. A. (1994): *Odontología Legal y Forense*. Editorial Masson. Barcelona.
- NUNES, M. C. (1998): *Contribución para la identificación humana a partir del estudio de las estructuras óseas. Determinación de la talla a través del estudio de los huesos largos*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- PESCE DELFINO, V.; COLONNA, E.; VACCA, E.; POTENTE, F.; INTRONA JR., F. (1986): «Computer-Aided Skull/Face Superimposition». *American Journal of Forensic Medicine and Pathology* 7 (3): 201-212.
- PONCE, M. S.; ZOLLIKER, C. P. (1999): «New evidence from Le Mousterier 1: computed-assisted reconstruction and morphometry of the skull». *The Anatomical Record* 254 (4): 474-489
- PRIETO, J. L. (1993): *Parámetros histomorfométricos óseos normales en una población infantojuvenil española*. Tesis doctoral. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.
- RECHEIS, W.; WEBER, G. W.; SCHAFER, K.; KNAPP, R.; SEIDLER, H.; ZURNEDDEN, D. (1999): «New methods and techniques in anthropology». *Collegium- Anthropologicum* 23 (2): 495-509.
- REVERTE, J. M. (1991): *Antropología Forense*. Ministerio de Justicia. Madrid.
- RODRIGUEZ, J. V. (1994): *Introducción a la Antropología Forense. Análisis e identificación de restos óseos humanos*. Departamento de Antropología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- ROLDÁN, B. (1989): *Aspectos médico-legales del análisis morfológico de los dientes*. Tesis doctoral. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.
- SÁNCHEZ, J. A. (1996): «Antropología Forense. Revisión histórica y perspectivas actuales». *Revista Española de Medicina Legal* XX (76-77): 63-70.

- SÁNCHEZ, J. A.; GÓMEZ, F. (1989) : «Application de l'analyse d'image computerisee a l'etude des restes osseux». *Advances in Paleopathology I*: 173-174.
- SÁNCHEZ, J. D. (1994): *Estudio de la osificación neonatal mediante el Análisis de Imagen. Aplicaciones médico-legales*. Tesis doctoral. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.
- SCHUTKOWSKI, H. (1993): «Sex Determination of Infant and Juvenile Skeletons: I. Morphognostic Features». *America Journal of Physical Anthropology* 90: 199-205.
- SHARON, A. W.; VANEZIS, P.; CHAPMAN, R. C.; GONZÁLEZ, A.; BLENKINSOP, C.; ROSSI, M. L. (1996): «Techniques in facial identification: computer-aided facial reconstruction using a laser scanner and video superposition». *International Journal of Legal Medicine* 108 (4): 194-200.
- SMITH, S. (1961): *Casi todo asesinato*. Ed. Argos. Barcelona.
- TROTTER, M.; GLESER, G. C. (1951): «The effect of ageing on stature». *American Journal of Physical Anthropology* 9 (3): 311-324.
- TROTTER, M.; GLESER, G. C. (1958): «A reevaluation of stimation of stature from long limb bones of American Whites and Negroes». *American Journal of Physical Anthropology* 16: 79-123.
- TYRRELL, A. J.; EVSON, M. P.; CHAMBERLAIN, A. T.; GREEN, M. A. (1997): «Forensic three-dimensional facial reconstruction: historical review and contemporary developments». *Journal of Forensic Sciences* 42 (4): 653-61.
- UBELAKER, H. D. (1991): *Human Skeletal Remains*. Taraxacum. Washington.

ODONTOESTOMATOLOGÍA FORENSE. EL PAPEL DEL ODONTÓLOGO EN LA INVESTIGACIÓN CRIMINAL

Labajo, M. E. y Perea, B.

- ANDRADAS, J.; LÓPEZ, J.; GARCÍA, E.; CÁMARA, T.; PRIETO, L. (1995): «Identification of human remains using DNA amplification (PCR)». Comunicación oral. *XVI Internacional Congress ISFH (International Society for Forensic Haemogenetics)*. Santiago de Compostela.
- AUSTIN-SMITH, D.; MAPLES, W. R. (1994): «The reliability of skull/photograph superimposition in individual identification». *Journal of Forensic Science* 39 (2): 446-455.

- BACCINO, E.; UBELAKER, D. H.; HAYEK, L. A.; ZERILLI, A. (1999): «Evaluation of seven methods of estimating age at death from mature human skeletal remains». *Journal of Forensic Science* 44 (5): 931-936.
- BERKOVITZ, B. K. B.; HOLLAND, G. R.; MOXHAM, B. J. (1995): *Atlas en Color y Texto de Anatomía Oral, Histología y Embriología*. Mosby/Doyma Libros. Madrid.
- BOLAÑOS, M. V.; MANRIQUE, M. V.; BOLAÑOS, M. J.; BRIONES, M. T. (2000): «Approaches to chronological age assessment based on dental calcification». *Forensic Science International* 110: 97-106.
- BROTHWELL, D. R. (1981): *Digging up bones*. British Museum (Natural History). Londres.
- BUSUTTIL, A.; JONES, J. S. P. (1989): *Deaths in major disasters: the Pathologist's role*. Royal College of Pathologist. Londres.
- CASAS, J. D.; RODRÍGUEZ, M. S. (2000): *Manual de Medicina Legal y Forense*. Ed. Colex. Madrid.
- DE VITO, C.; SAUNDERS, S. R. (1990): «A discriminant function analysis of deciduous teeth to determine sex». *Journal of Forensic Science* 35: 845-858.
- DORION, R. B. (1983): «Photographic superimposition». *Journal of Forensic Science* 28: 724-734.
- FIGUN, M. E.; GARINO, R. R. (1980): *Anatomía odontológica funcional y aplicada*. Ed. Ateneo. Buenos Aires.
- GISBERT, J. A. (2004): *Tratado de Medicina Legal y Toxicología* (6ª edición). Ed. Masson. Barcelona.
- GONZÁLEZ, J.; GONZÁLEZ, J. J.; GONZÁLEZ, J. (2007): «Iniciación a la Historia de la Odontología Forense (primera parte)». *Gaceta Dental* 178: 30-53.
- GONZÁLEZ, J.; GONZÁLEZ, J. J.; GONZÁLEZ, J. (2007): «Iniciación a la Historia de la Odontología Forense (segunda parte)». *Gaceta Dental* 179: 46-67.
- GONZÁLEZ, J.; GONZÁLEZ, J. J.; GONZÁLEZ, J. (2007): «Iniciación a la Historia de la Odontología Forense (final)». *Gaceta Dental* 180: 68-71.
- GUSTAFSON, G. (1950): «Age determination on teeth». *JADA*. 41: 45-54.
- HANIHARA, K. (1967): «Racial characteristics in the dentition». *Journal of Dental Research* 46: 923-928.
- HAPPONEN, R. P. (1991): «Use of orthopantomographs in forensic identification». *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology* 12 (1): 59-63.
- HELFMAN, P. M. (1976): «Aspartic acid racemization in dentine as a measure of ageing». *Nature* 262 (5566): 279-281.
- ISCAN, Y. I.; HELMER, R. P. (1993): *Forensic Analysis of the Skull*. Wiley-Liss. Nueva York.
- ITEN, P. X. (1987): «Identification of skulls by video superimposition». *Journal of Forensic Science* 31: 203-230.

- KEISER-NIELSEN, S. (1977): «Dental identification: certainty v probability». *Forensic Science International* 9: 87-97.
- KIESER, J. A. (1990): *Human Adults Odontometrics: The Study of Variation in Adult Tooth Size*. Cambridge University Press. Nueva York.
- KROGMAN, M. W.; ISCAN M. Y. (1986): *The Human Skeleton in Forensic Sciences*. Charles C. Thomas. Springfield.
- LAMEDIN, H.; BACCINO, E.; HUMBERT, J. C.; TAVERNIER, R. M.; NOSS-INTCHOUK, R.; ZERILLI, A. (1992): «A simple technique for age estimation in adult corpses: the two criteria dental method». *Journal of Forensic Science* 37: 1373-1379.
- MOYA, V.; ROLDÁN, B.; SÁNCHEZ J. A. (1994): *Odontología Legal y Forense*. Ed. Masson. Barcelona.
- NOLLA, C. M. (1960): «The development of the permanent teeth». *Journal of Dentistry for Children* 27: 254-266.
- PASLER, F. A. (1992): *Atlas de radiología odontológica*. Ed. Masson-Salvat. Barcelona.
- PASSER, F. A. (1988): *Radiología odontológica*. Ed. Salvat. Barcelona.
- PRIETO, J. L. (1996): «Identificación dental. Técnicas radiológicas». *Revista Española de Medicina Legal* XX (76-77): 71-83.
- PRIETO, J. L. (2006-2007): «Curso de Antropología forense Online». Escuela de Medicina Legal. Madrid.
- REVERTE, J. M. (1999): *Antropología Forense* (2ª edición). Ministerio de Justicia. Madrid.
- SÁNCHEZ, J. A. (1997): «Desastres de masas: legislación y tipos de accidentes». *Revista Española de Medicina Legal* XXI (78-79): 51-56.
- SIMONIN, C. (1990): *Medicina Legal Judicial* (4ª edición). Ed. JIMS. Barcelona.
- UBELAKER, D. H. (1999): *Human Skeletal Remains. Excavation, analysis, interpretation*. Taraxacum. Washington.
- VILLA, M. A. (1990): «Simplified method of odontograms for individual identification». *Quintessence International* 21 (12): 1013-1018.
- WHITTAKER, D. K. (1989): *A colour atlas of forensic dentistry*. Wolfe Medical. Londres.
- WHITTAKER, D. K. (1994): «An Introduction to forensic dentistry». *Quintessence International* 25 (10): 723-730.
- YAMADA, Y. (1997): «Sequencing mitochondrial DNA from a tooth and application to forensic odontology». *Journal of Forensic Odontostomatology* 15 (1): 13-16.
- YOUNG-KU, K.; HONG-SEOP, K.; KYOUNG-HO, L. (2000): «Age estimation by occlusal tooth wear». *Journal of Forensic Science* 45 (2): 303-309.

TOXICOLOGÍA I. INTOXICACIONES POR ALCOHOL ETÍLICO

Anadón, M. J. y Uroz, M. V.

- American Psychiatric Association (2002): *DSM-IV-TR. Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales*. Ed. Masson. Barcelona.
- ANDERSEN, P.; BAUMBERG, B. (2006): *El alcohol en Europa. Una perspectiva de salud pública*. Institute of Alcohol Studies. Londres.
- ARROYO-FERNÁNDEZ, A.; GARCÍA-SAYAGO, F. (2006): Valoración médico-legal de las drogas de abuso». *Medicina Clínica* 126: 632-636.
- BATALLER, R. (2004): *Toxicología Clínica*. Ed. Universitat de Valencia.
- CASAS, J. (2000): *Manual de Medicina Legal y Forense*. Ed. Colex. Madrid.
- Comisión Clínica de la Delegación del Gobierno para el Plan Nacional sobre Drogas (2007): *Informe sobre alcohol*. Ministerio de Sanidad y Consumo. Madrid. www.pnsd.msc.es/Categoria2/publica/pdf/InformeAlcohol.pdf (consultado 18/4/2008).
- Delegación del Gobierno para el Plan Nacional sobre Drogas (2008): *Informe 2007 del Observatorio Español Sobre Drogas*. Ministerio de Sanidad y Consumo. Madrid. www.pnsd.msc.es/Categoria2/publica/pdf/oed-2007.pdf (consultado 25/11/2008).
- DETTLING, A.; FISCHER, F.; BÖHLER, S.; ULRICH, F.; SKOPP, G.; GRAW, M.; HAFNER, H. T. (2007): «Ethanol elimination rates in men and women in consideration of the calculated liver weight». *Alcohol* 41: 415-420.
- DUEÑAS, A. (2005): *Intoxicaciones agudas en medicina de urgencia y cuidados críticos*. Ed. Masson. Barcelona.
- GISBERT, J. A. (2004): *Medicina Legal y Toxicología* (6ª edición). Ed. Masson. Barcelona: 878-895.
- GULLBERG, R. G. (2007): «Estimating the uncertainty associated with Widmark's equation as commonly applied in forensic toxicology». *Forensic Science International* 172: 33-39.
- LLIGONA, A. (2000): «Urgencias en alcoholismo». *JANO* 59 (1361): 7.
- MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, M. A.; SÁNCHEZ, A. (2004): *Estilos de vida y Salud Pública* (3ª edición). Ed. Universidad de Navarra.
- MENCÍAS, E.; MAYERO, L. (2000): *Manual de Toxicología Básica*. Ed. Díaz de Santos. Madrid.
- NAKAYA, N.; KIKUCHI, N.; SHIMAZU, T.; OHMORI, K.; KAKIZAKI, M.; SONE, T.; AWATA, S.; KURIYAMA, S.; TSUJI, I. (2007): «Alcohol consumption and suicide mortality among Japanese men: the Ohsaki Study». *Alcohol* 41: 503-510.

- RAINIO, J.; GIORGIO, F. D.; BORTOLOTTI, F.; TAGLIARO, F. (2008): *Objective post-mortem diagnosis of chronic alcohol abuse - A review of studies on new markers*. *Legal Medicine* 10 (5). Tokio: 229-235.
- ROIZEN, J. (1997): «Epidemiological issues in alcohol related violence». GALANT-ER, M: *Recent Developments in Alcoholism* 13. Plenum Press. Nueva York: 7-40.
- SIEGEL J. A. *et al.* (2000): *Encyclopedia of Forensic Sciences*. Ed. Elsevier: Academic Press. Estados Unidos: 74-126.
- SIMIC, M.; TASIC, M. (2007): «The relationship between alcohol elimination rate and increasing blood alcohol concentration-calculated from two consecutive blood specimens». *Forensic Science International* 172: 28-32.
- WIDMARK, E. M. P. (1981): *Principles and Applications of Medicolegal Alcohol Determination*. Biomedical Publications. Davis, California.
- WONG, J. L.; ARANGO-VIANA, J. C.; SQUIRES, T. (2008): «Heart, liver and spleen pathology in chronic alcohol and drug users». *Journal of Forensic and Legal Medicine* 15: 141-147.

TOXICOLOGÍA FORENSE II. INTOXICACIONES POR DROGAS DE ABUSO

Uroz, M. V. y Zaballos, M.

- Agencia Antidroga. Comunidad de Madrid (1999): *Medicina Legal en Drogo-dependencias*. Ed. Harcourt. Madrid.
- BJORNAAS, M. A.; BEKKEN, A. S.; OJLERT, A.; HALDORSEN, T.; JACOBSEN, D.; ROSTRUP, M.; EKEBERG, O. (2008): «A 20-year prospective study of mortality and causes of death among hospitalized opioid addicts in Oslo». *BMC Psychiatry* 8: 8.
- BUTLER, R. A.; SHERIDAN, J. L. (2007): «Highs and lows: patterns of use, positive and negative effects of benzylpiperazine-containing party pills (BZP-party pills) amongst young people in New Zealand». *Harm Reduction Journal* 19 (4): 18.
- Comisión Clínica de la Delegación del Gobierno para el Plan Nacional sobre Drogas (2006): *Informe sobre cannabis*. Ministerio de Sanidad y Consumo. Madrid. www.pnsd.msc.es/Categoria2/publica/pdf/InformeCannabis.pdf (consultado 7/5/2008).
- Delegación del Gobierno para el Plan Nacional sobre Drogas (2008): *Informe 2007 del Observatorio Español Sobre Drogas*. Ministerio de Sanidad y Consumo. Madrid. www.pnsd.msc.es/Categoria2/publica/pdf/oed-2007.pdf (consultado 18/11/2008).

- ELONHEIMO, H.; NIEMELÄ, S.; PARKKOLA, K.; MULTIMÄKI, P.; HELENIUS, H.; NUUTILA, A. M.; SOURANDER, A. (2007): «Police-registered offenses and psychiatric disorders among young males. The Finnish "From a boy to a man" birth cohort study». *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology* 42: 477-484.
- GLAUSER, J.; QUEEN, J. R. (2007): «An overview of non-cardiac cocaine toxicity». *Emergency Medicine Journal* 32: 181-186.
- GREEN, A. R.; O'SHEA, E.; COLADO, M. I. (2004): «A review of the mechanisms involved in the acute MDMA (ecstasy)-induced hyperthermic response». *European Journal of Pharmacology* 500: 3-13.
- GROTENHERMEN, F. (2007): «The Toxicology of Cannabis and Cannabis Prohibition». *Chemistry & Biodiversity* 4: 1744-1769.
- GUSSOW, L.; CARLSON, A. (2006) «Sedative Hypnotics». MARX, J. A.; HOCKBERGER, R. S.; WALLS, R. M: *Rosen's Emergency Medicine. Concepts and clinical practice*. Mosby Elsevier. Filadelfia: 2481-2491.
- HANTSCH, C. E. (2006): «Opioids». MARX, J. A.; HOCKBERGER, R. S.; WALLS, R. M: *Rosen's Emergency Medicine. Concepts and clinical practice*. Mosby Elsevier. Filadelfia: 2451-2457.
- KARLSEN, S. N.; SPIGSET, O.; SLØRDAL, L. (2008): «The Dark Side of Ecstasy: Neuropsychiatric Symptoms after Exposure to 3,4-Methylenedioxymethamphetamine». *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology* 102: 15-24.
- LECOMPTE, Y.; EVRARD, I.; ARDITTI, J. (2006): «Metachlorophenylpiperazine (mCPP): a new designer drug». *Thérapie* 61: 523-530.
- LEIKIN, J. B. (2007): «Substance-related disorders in adults». *Dis Mon* 53 (6): 313-335.
- LY, B. T.; CLARK, R. F.; WILLIAMS, S. R. (2006): «Hallucinogens». MARX, J. A.; HOCKBERGER, R. S.; WALLS, R. M: *Rosen's Emergency Medicine. Concepts and clinical practice*. Mosby Elsevier. Filadelfia: 2406-2418.
- MAURER, H. H.; SAUER, C.; THEOBALD, D. S. (2006): «Toxicokinetics of drugs of abuse: current knowledge of the isoenzymes involved in the human metabolism of tetrahydrocannabinol, cocaine, heroin, morphine, and codeine». *Therapeutic Drug Monitoring* 28: 447-453.
- MOORE, T. H. M.; ZAMMIT, S.; LINGFORD-HUGHES, A.; BARNES, T. R. E.; JONES, P. B.; BURKE, M.; LEWIS, G. (2007) «Cannabis use and risk of psychotic or affective mental health outcomes: a systematic review». *The Lancet* 370: 319-328.
- OEDT (2007): *Informe anual 2007: el problema de la drogodependencia en Europa*. Observatorio Europeo de las Drogas y las Toxicomanías. Luxemburgo.
- PETRAS, H.; KELLAM, S. G.; BROWNC, C. H.; MUTHÉN, B. O.; IALONGO, N. S.; JEANNE, M.; PODUSKA, J. M. (2008): «Developmental epidemiological courses leading to antisocial personality disorder and violent and criminal behavior:

Effects by young adulthood of a universal preventive intervention in first- and second-grade classrooms». *Drug and Alcohol Dependence* 95S: S45-S59.

- RAO, R. B.; HOFFMAN, R. S. (2006): «Cocaine and other sympathomimetics». MARX, J. A.; HOCKBERGER, R. S.; WALLS, R. M: *Rosen 's Emergency Medicine. Concepts and clinical practice*. Mosby Elsevier. Filadelfia: 2386-2394.
- RINGEN, P. A.; MELLE, I.; BIRKENAES, A. B.; ENGH, J. A.; FAERDEN, A.; JÓNS-DÓTTIR, H. *et al.* (2008): «Illicit drug use in patients with psychotic disorders compared with that in the general population: a cross-sectional study». *Acta Psychiatrica Scandinavica* 117: 133-138.

SEXOLOGÍA MÉDICO-LEGAL. DELITOS CONTRA LA LIBERTAD SEXUAL: AGRESIONES SEXUALES, ABUSOS SEXUALES Y VIOLACIÓN

Marote, R. M. y Pera, F. J.

- CASTELLÓ, A.; FRANCES, F.; VERDÚ, F. (2009): «Investigación médico forense de los delitos contra la libertad e indemnidad sexuales». *Cuadernos de Medicina Forense* 15 (55).
- DI MAIO, V. J. M. (2003): *Manual de Patología Forense*. Díaz de Santos. Madrid.
- GISBERT, J. A. (1998): *Medicina Legal y Toxicología* (5ª edición). Ed. Masson. Barcelona.
- Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal Español. *Boletín Oficial del Estado* nº 281 de 24/11/1995.
- Ley Orgánica 6/1985, de 1 de Julio, del Poder Judicial. *Boletín Oficial de Estado* nº 157 de 2/6/1985.
- VARGAS, E. (1983): *Medicina Legal* (2ª edición). Ed. Lehmann. San José de Costa Rica.

ESTUDIO FORENSE DE FIBRAS

Álvarez, M. D. y Mateos, J.

- ALBARRACÍN, R. (1971): *Tratado de Criminalística*. Ed. Policial. Buenos Aires.
- BUQUET, A. (2007): *Manual de Criminalística Moderna*. Plaza Edición. México.
- CARO, P. (2004): *Manual de química forense*. La Rocca. Buenos Aires.

- DE AMBRIZ, F. (1991): *Hematología forense y otras técnicas serológicas*. Ed. Porrúa. México.
- DEEDRICK, D. W. (2000): «Hairs, Fibers, Crime, and Evidence. Part 3: Crime and Evidence». *Forensic Science Communications* 2 (3). Unit Chief Trace Evidence Unit Federal Bureau of Investigation Washington DC.
- ECHAZU, D. (1983): *Investigación de la muerte* (2ª edición). Ed. Policial. Buenos Aires.
- GISBERT, J.; VILLANUEVA, E. (2004): *Medicina legal y toxicología* (6ª edición). Ed. Masson. Barcelona.
- GUTIERREZ, A. (2002): *Manual Ciencias Forenses y Criminalística*. Ed. Trillas. México.
- GUZMÁN, C. (2003): *Manual de criminalística*. Ed. La Rocca. Buenos Aires.
- Real Decreto 1522/2007, de 16 de noviembre por el que se modifica el Real Decreto 4/2007, de 12 de enero, por el que se aprueban los métodos de análisis cuantitativos de mezclas binarias de fibras textiles. *Boletín Oficial de Estado* nº 292 de 6/12/2007.
- Real Decreto 1748/1998, de 31 de julio, por el que se modifican los anexos I y II del Real Decreto 928/1987, de 5 de junio, relativo al etiquetado de composición de los productos textiles, con objeto de adaptarlos al progreso técnico. *Boletín Oficial de Estado* nº 205 de 27/8/1998.
- Real Decreto 4/2007, de 12 de enero, por el que se aprueban los métodos de análisis cuantitativos de mezclas binarias de fibras textiles. *Boletín Oficial de Estado* nº 12 de 13/01/2007.
- SODERMAN, H.; O' CONELL, J. (1992): *Métodos modernos de la investigación criminal*. Ed. Limusa. Bogotá.
- VV. AA. (1994): *Tratado de Criminalística*, tomo II. Ed. Policial. Buenos Aires.

ESTUDIO FORENSE DE PELOS

Álvarez, M. D. y Mateos, J.

- ALBARRACÍN, R. (1971): *Manual de Criminalística*. Ed. Policial. Buenos Aires.
- BARBERÁ, F. A.; TUREGANO, J. V. (1991): *Técnica policial*. Ed. T. Blanch. Valencia.
- BUQUET, A. (2007): *Manual de Criminalística Moderna*. Plaza Edición. México.
- CARO, P. (2004): *Manual de Química Forense*. Ed. La Rocca. Buenos Aires.
- DE AMBRIZ, F. (1991): *Hematología forense y otras técnicas serológicas*. Ed. Porrúa. México.

- DEEDRICK, D. W. (2000): «Hairs, Fibers, Crime, and Evidence». *Forensic Science Communications* 2: 3.
- ECHAZU, D. (1983): *Investigación de la muerte* (2ª edición). Ed. Policial. Buenos Aires.
- Fiber economics bureau (1999): «Worldwide demand for certain fibers: 1994 to 1998». *Fiber Organon* 70 (7): 107.
- GIBBERT J., VILLANUEVA E. 2004. *Medicina Legal y Toxicología* (6ª edición). Ed. Masson, Barcelona.
- GUTIÉRREZ, A. (2002): *Manual Ciencias Forenses y Criminalística*. Ed. Trillas. México.
- GUZMÁN, C. (2003): *Manual de criminalística*. Ed. La Rocca. Buenos Aires.
- SIEGEL, J.; KNUPFER, G.; SAUKKO, P. (2002): «Análisis Pericial de Cabellos y Pelos». *Encyclopedia of forensic sciences*, three-volume set, 1-3. Ed. Elsevier. Argentina.
- SODERMAN, H.; O'CONNELL, J. (1992): *Métodos modernos de la investigación criminal*. Ed. Limusa. Bogotá.
- VV. AA. (1994): *Tratado de Criminalística*, tomo II. Ed. Policial. Buenos Aires.
- Enlaces de interés (consultados 1/4/2008):
 - www.criminalistica.net/forense/modules.php
 - www.monografias.com/trabajos10/pelo/pelo.shtml
 - www.policensw.com/info/forensic/forensic7a.html
 - www.portalplanetasedna.com.ar/seda.htm
 - www.scribd.com/doc/6618420/criminalistica

ESTUDIO PERICIAL DE SUELOS

Álvarez, A. M. y Carral, M. P.

- AGUILAR, J.; DORRONSORO, C.; BELLVER, R.; FERNÁNDEZ, E.; FERNÁNDEZ, J.; GARCÍA, I.; IRIARTE, A.; MARTÍN, F.; ORTIZ, I.; SIMÓN, M. (2003): *Contaminación de los suelos tras el vertido tóxico de Aznalcóllar*. Junta de Andalucía y Dpto. de Edafología y Química Agrícola Universidad de Granada.
- CARO, P. M.; AVERSA, S.; CEROLINI, R.; DORO, G. (2007): *Manual de Química Forense*. Ed. La Rocca. Buenos Aires.
- CSUROS, M.; CSUROS, C. (2002): *Environmental Sampling and Analysis for Metals*. CRC Press. Boca Raton.
- FABRELLAS, B.; SOLÍS, A.; ÁLVAREZ, A.; LARRAZÁBAL, D.; MARTÍNEZ, M. A. (2004): *Los retardantes de llama bromados como compuestos orgánicos persistentes. Distribución en el medio ambiente y exposición en humanos*. Ciemat. Madrid.

- INTERPOL (2001): «Forensic Examination of Soil Evidence. DI-174-DI-191». *Forensic Science Symposium*. Lyon.
- MURRAY, R. C.; TEDROW, J. F. C. (1975): *Forensic Geology: Earth Science and Criminal Investigation*. Rutgers University Press. Nuevo Brunswick.
- MURRAY, R. C.; TEDROW, J. F. C. (1992): *Forensic Geology*. Prentice Hall. Englewood Cliffs.
- PYE, K.; CROFT, D. J. (2004): «Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications». *Geological Society Special Publication* 232. Londres.
- SUGITA, R.; SUZUKI, S. «Forensic Geology. A Review: 2001-2004». *XIV International Forensic Science Symposium*.
- SUGITA, R.; SUZUKI, S. «Forensic Geology. A Review: 2004-2007». *XV International Forensic Science Symposium*.

PALINOLOGÍA Y ENTOMOLOGÍA FORENSE

Boi, M. y Capó, M.

- BALTHAZARD, V. (1933): *Medicina Legal*. Ed. Salvat. Barcelona.
- BARRIENTOS, J. A. (1988) *Bases para un curso práctico de entomología*. Asociación española de Entomología. Salamanca.
- BOI, M.; LLADÓ, G.; LLORENS, L. (2008): *Estudio de la Flora melífera, Mielles y Producción polínica de Mallorca*. Ed. Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca.
- BOI, M.; LLORENS, L. (2007): *Atlas Polínico de las Baleares. Flora endémica*. Ed. Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca.
- BOI, M.; SERVERA, G.; CAPÓ, M.; LLORENS, L. (2009): «I cavalli e le loro qualità come campionatori pollinici». *Giornale Europeo d'Aerobiologia* 5: 25-33.
- BRYANT, V. M.; JONES, G. D. (2006): «Forensic palynology: current status of a rarely used technique in the United States of America». *Forensic Science International* 163: 198-203.
- BRYANT, V. M.; JONES, J. G.; MILDENHALL, D. C. (1990): «Forensic palynology in the Unites States of America». *Palynology* 14: 193-208.
- CAPÓ, M. A. (1989): *Veterinaria Legal con Deontología*. Ed. EUTESA. Madrid.
- CHINERY, M. (1988): *Guía de los Insectos de Europa*. Ed. Omega. Barcelona.
- ERDTMAN, G. (1969): *Handbook of Palynology: morphology, taxonomy and ecology*. Munksgaard. Copenague.
- MATHEWES, R. W. (2006): «Forensic palynology in Canada: an overview with emphasis on archaeology and anthropology». *Forensic Science International* 163: 183-197.

- MÉGNIN, C. (1992): *La Fauna de los Cadáveres*. Saturnino Calleja, Editor. Madrid.
- MILDENHALL, D. C. (2006): «An usual appearance of a common pollen type indicates the scene of a crime». *Forensic Science International* 163: 236-240.
- MILDENHALL, D. C. (2006): «*Hypericum* pollen determines the presence of burglars at the scene of a crime: an example of forensic palynology». *Forensic Science International* 163: 231-235.
- MONTALI, E.; MERCURI, A. M.; TREVISAN, G.; ACCORSI, C. A. (2006): «Towards a “crime pollen calendar”- Pollen analysis on corpses throughout one year». *Forensic Science International* 163: 211-223.
- ROACH, J. (2003): «Deciphering the origin, travels of “Iceman”». *National Geographic* de 30/10/2003.
- SERVERA, G.; RIERA, S.; MIRAS, Y.; PICORNELL, LL.; ARMENTANO, N.; ALLUÉ, E.; ESTEVE, X.; BOI, M. (2008): «Plants and death in the Late Bronze Age of Minorca Island: plant uses, funerary offerings and symbolism in the “Cova des Pas” collective burial cave». *Terra Nostra* 2008/2: 254-255.
- SZIBOR, R.; SCHUBERT, C.; SCHÖNING, R.; KRAUSE, D.; WENDT, U. (1998): «Pollen analysis reveals murder season». *Nature* 395: 449-450.
- THOINOT, L. (1927): *Tratado de Medicina Legal*, tomo I. Ed. Salvat. Barcelona.

GRANDES CATÁSTROFES. ORDENAMIENTO LEGAL, TIPOS DE ACCIDENTE Y PLAN GENERAL DE ACTUACIÓN. EL EQUIPO DE NECROIDENTIFICACIÓN

Labajo, M. E. y Sánchez, J. A.

- BARRIER, G. (1989): «Emergency medical services for treatment of mass casualties». *Critical Care Medicine* 17 (10): 1062-1067.
- BUSUTTIL, A.; JONES, J. S. P. (1989): *Deaths in major disasters. The pathologist's role*. The Royal College of Pathologist. Londres.
- Departamento de Programación (1979): *Ley de Enjuiciamiento Criminal*. Ed. del Boletín Oficial del Estado. Madrid.
- Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre Protección Civil. *Boletín Oficial del Estado* nº 22 de 25/1/1985.
- Real Decreto 1378/1985, de 1 de agosto, sobre medidas provisionales para la actuación en situaciones de emergencia en los casos de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública. *Boletín Oficial del Estado* nº 191 de 10/8/1985.

EL ADN EN LAS CIENCIAS FORENSES

Fernández, E.; Gamba, C. y López-Parra, A. M

- ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; ROFF, M.; ROBERTS, K.; WATSON, J. D. (2004): *Biología molecular de la célula* (4ª edición). Ed. Omega. Barcelona.
- ALONSO, A. (2004): *Nuevas técnicas de investigación del delito, intervenciones corporales y ADN. Conceptos básicos de ADN Forense*. Centro de Estudios Jurídicos. Ministerio de Justicia. Madrid.
- ARONSON, J. D. (2005): «DNA fingerprinting on trial: the dramatic early history of a new forensic technique». *Endeavour* 29 (3): 126-131.
- ARROYO, E. (1995): *Cuaderno de prácticas de Biología Forense*. Departamento de Medicina Legal de la Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.
- CERDÁN, M. E. (1997): *Biología Molecular: Avances y Técnicas Generales*. Universidad de la Coruña.
- CHAKRABORTY, R.; STIVERS, D. N.; SU, B.; ZHONG, Y.; BUDOWLE, B. (1999): «The utility of short tandem repeat loci beyond human identification: implications for development of new DNA typing systems». *Electrophoresis* 20 (8): 1682-1696.
- EDWARDS, A.; CIVITELLO, A.; HAMMOND, H.; CASKEY, C. (1991): «DNA typing and genetic mapping with trimeric and tetrameric tandem repeats». *American Journal of Human Genetics* 49: 746-756.
- EDWARDS, A.; GIBBS, R. A.; NGUYEN, P. N.; ANSORGE, W.; CASKEY, C. T. (1989): «Automated DNA sequencing methods for detection and analysis of mutations: applications to the Lesch-Nyhan syndrome». *Transactions of the Association of American Physicians* 102: 185-194.
- EDWARDS, A.; HAMMOND, H.; JIN, L.; CASKEY, C.; CHAKRABORTY, R. (1992): «Genetic variation at five trimeric and tetrameric tandem repeat loci in four human population groups». *Genomics* 12: 241-253.
- FAWCETT, D. W. (1997): *Tratado de Histología*. Ed. Mc Graw-Hill-Interamericana. Madrid.
- GARCÍA-SEGURA, J. M. (1996): *Técnicas instrumentales de análisis en bioquímica*. Ed. Síntesis. Madrid.
- GILL, P.; URQUHART, A.; MILLICAN, E.; OLDROYD, N.; WATSON, S.; SPARKES, R.; KIMPTON, C. P. (1996): «A new method of STR interpretation using inferential logic-development of a criminal intelligence database». *International Journal of Legal Medicine* 109 (1): 14-22.
- GILL, P.; WERRETT, D. J. (1987): «Exclusion of a man charged with murder by DNA fingerprinting». *Forensic Science International* 35 (2-3): 145-148.

- HAUGE, X. Y.; LITT, M. (1993): «A study of the origin of 'shadow bands' seen when typing dinucleotide repeat polymorphisms by the PCR». *Human Molecular Genetics* 2 (4): 411-415.
- HEYER E., PUYMIRAT J., DIJLTJES P., BAKKER E., DE KNIJFF P. (1997) «Estimating Y chromosome specific microsatellite mutation frequencies using deep rooting pedigrees». *Human Molecular Genetics* 6 (5): 799-803.
- International Human Genome Sequencing Consortium (2001): «Initial sequencing and analysis of the human genome». *Nature* 409: 860-921.
- JEFFREYS, A. J.; BROOKFIELD, J. F.; SEMEONOFF, R. (1985): «Positive identification of an immigration test-case using human DNA fingerprints». *Nature* 317: 818-819.
- JEFFREYS, A. J.; WILSON, V.; THEIN, S. L. (1985): «Hypervariable minisatellite regions in human DNA». *Nature* 314: 67-73.
- JEFFREYS, A. J.; WILSON, V.; THEIN, S. L. (1985): «Individual-specific fingerprints of human DNA». *Nature* 316: 76-79.
- JOBLING, M. A.; HURLES, M. E.; TYLER-SMITH, C. (2004): *Human Evolutionary Genetics: origins, peoples and disease*. Garland Sciences Publishing. Londres/ Nueva York.
- KAYSER, M.; KITTLER, R.; ERLER, A.; HEDMAN, M.; LEE, A. C.; MOHYUDDIN, A.; MEHDI, S. Q.; ROSSER, Z.; STONEKING, M.; JOBLING, M. A.; SAJANTILA, A.; TYLER-SMITH, C. (2004): «A comprehensive survey of human Y-chromosomal microsatellites». *American Journal of Human Genetics* 74 (6): 1183-1197.
- KAYSER, M.; ROEWER, L.; HEDMAN, M.; HENKE, L.; HENKE, J.; BRAUER, S.; KRUGER, C.; KRAWCZAK, M.; NAGY, M.; DOBOSZ, T.; SZIBOR, R.; DE KNIJFF, P.; STONEKING, M.; SAJANTILA, A. (2000): «Characteristics and frequency of germline mutations at microsatellite loci from the human Y chromosome, as revealed by direct observation in father/son pairs». *American Journal of Human Genetics* 66 (5): 1580-1588.
- LACADENA, J. R. (1999): *Genética General. Conceptos fundamentales*. Ed. Síntesis. Madrid.
- LEVINSON, G.; GUTMAN, G. A. (1987): «Slipped strand mispriming: a major mechanism for DNA sequence evolution». *Molecular Biology and Evolution* 4: 203-221.
- LUQUE, J.; HERRÁEZ, A. (2001): *Biología Molecular e Ingeniería Genética. Conceptos, técnicas y aplicaciones en Ciencias de la Salud*. Ed. Harcourt. Madrid.
- MANN, T.; LUTWAK-MANN, C. (1981): *Male reproductive function and semen*. Springer-Verlag. Berlín.
- MARTÍNEZ, M. (1999): *La prueba del ADN en medicina forense*. Ed. Masson. Barcelona.

- MULLIS, K.; FALOONA, F.; SCHARF, S.; SAIKI, R.; HORN, G.; ERLICH, H. (1986): «Specific enzymatic amplification of DNA in vitro: the polymerase chain reaction». *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology* 1: 263-273.
- MURRAY, V.; MONCHAWIN, C.; ENGLAND, P. R. (1993): «The determination of the sequences present in the shadow bands of a dinucleotide repeat PCR». *Nucleic Acids Research* 21 (10): 2395-2398.
- PRIETO, L. (2002): *Estudio de polimorfismos de ADN en restos humanos antiguos y muestras forenses críticas. Valoración de estrategias y resultados*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- ROEWER, L.; ARNEMANN, J.; SPURR, N. K.; GRZESCHIK, K. H.; EPPLER, J. T. (1992): «Simple repeat sequences on the human Y chromosome are equally polymorphic as their autosomal counterparts». *American Journal of Human Genetics* 89: 389-394.
- SCHLOTTERER, C.; TAUTZ, D. (1992): «Slippage synthesis of simple sequence DNA». *Nucleic Acids Research* 20 (2): 211-215.
- SHINDE, D.; LAI, Y.; SUN, F.; ARNHEIM, N. (2003): «Taq DNA polymerase slippage mutation rates measured by PCR and quasi-likelihood analysis: (CA/GT)_n and (A/T)_n microsatellites». *Nucleic Acids Research* 31 (3): 974-980.
- STRACHAN, T.; READ, A. (2003): *Human Molecular Genetics*. Wiley-Liss. Nueva York.

TIPOS DE POLIMORFISMO Y APLICACIONES FORENSES

Arroyo-Pardo, E.; Baeza, C. y Tirado, M.

- ALONSO, A. (2004): *Nuevas técnicas de investigación del delito, intervenciones corporales y ADN. Conceptos básicos de ADN Forense*. Centro de Estudios Jurídicos. Ministerio de Justicia. Madrid.
- AMOS, W.; SAWCER, S. J.; FEAKES, R. W.; RUBINSZTEIN, D. C. (1996): «Microsatellites show mutational bias and heterozygote instability». *Nature Genetics* 13 (4): 390-391.
- ANDERSON, S.; BANKIER, A. T.; BARRELL, B. G.; DE BRUIJIN, M. H. L.; COULSON, A. R. *et al.* (1981): «Sequence and organization of the human mitochondrial genome». *Nature* 290: 457-465.
- AQUADRO, C. F.; GREENBERG, B. D. (1983): «Human mitochondrial DNA variation and evolution: analysis of nucleotide sequences from seven individuals». *Genetics* 103 (2): 287-312.
- BAILEY, J. A.; GU, Z.; CLARK, R. A.; REINERT, K.; SAMONTE, R. V.; SCHWARTZ, S.; ADAMS, M. D.; MYERS, E. W.; LI, P. W.; EICHLER, E. E. (2002): «Recent segmental duplications in the human genome». *Science* 297 (5583): 1003-1007.

- BALLARD, D. J.; PHILLIPS, C.; WRIGHT, G.; THACKER, C. R.; ROBSON, C.; REVOIR, A. P.; COURT, D. S. (2005): «A study of mutation rates and the characterisation of intermediate, null and duplicated alleles for 13 Y chromosome STRs». *Forensic Science International* 155 (1): 65-70.
- BERNSTEIN, R.; WADEE, A.; ROSENDORFF, J.; WESSELS, A.; JENKINS, T. (1986): «Inverted Y chromosome polymorphism in the Gujerati Muslim Indian population of South Africa». *American Journal of Human Genetics* 74 (3): 223-229.
- BIANCHI, N. O.; CATANESI, C. I.; BAILLIET, G.; MARTINEZ-MARIGNAC, V. L.; BRAVI, C. M.; VIDAL-RIOJA, L. B.; HERRERA, R. J.; LÓPEZ-CAMELO, J. S. (1998): «Characterization of ancestral and derived Y-chromosome haplotypes of New World native populations». *American Journal of Human Genetics* 63 (6): 1862-1871.
- BOBROW, M.; PEARSON, P. L.; PIKE, M. C.; EL-ALFI, O. S. (1971): «Length variation in the quinacrine-binding segment of human Y chromosomes of different sizes». *Cytogenetics* 10 (3): 190-198.
- BORGULA, L. M.; ROBINSON, F. G.; RAHIMI, M.; CHEW, K. E.; BIRCHMEIER, K. R.; OWENS, S. G.; *et al.* (2003): «Isolation and genotypic comparison of oral streptococci from experimental bite marks». *Journal of Forensic Odontostomatology* 21: 23-30.
- BOSCH, E.; JOBLING, M. A. (2003): «Duplications of the AZFa region of the human Y chromosome are mediated by homologous recombination between HERVs and are compatible with male fertility». *Human Molecular Genetics* 12 (3): 341-347.
- BRINKMANN, B.; KLINTSCHAR, M.; NEUHUBER, F.; HUHNE, J.; ROLF, B. (1998): «Mutation rate in human microsatellites: influence of the structure and length of the tandem repeat». *American Journal of Human Genetics* 62 (6): 1408-1415.
- BUCKELTON, J.; TRIGGS, C. M.; WALSH, S. J. (2005): *Forensic DNA evidence Interpretation*. CRC Press. Estados Unidos.
- CAMPOBASSO, C. P.; LINVILLE, J. G.; WELLS, J. D.; INTRONA, F. (2005): «Forensic Genetic Analysis of Insect Gut Contents». *American Journal of Forensic Medicine and Pathology* 26 (2): 161-165.
- CANN, R. L.; STONEKING, M.; WILSON, A. C. (1987): «Mitochondrial DNA and human evolution». *Nature* 325: 31-36.
- CARRACEDO, A. (2004): *Nuevas técnicas de investigación del delito, intervenciones corporales y ADN. Valoración e interpretación de la prueba pericial sobre ADN ante los tribunales*. Centro de Estudios Jurídicos. Ministerio de Justicia. Madrid.
- CARRACEDO, A.; BÄR, W.; LINCOLN, P.; MAYR, W.; MORLING, N.; OLAISEN, B.; SCHNEIDER, P.; BUDOWLE, B.; BRINKMANN, B.; GILL, P.; HOLLAND, M.; TULLY, G.; WILSON, M. (2000): «DNA commission of the international society for forensic genetics: guidelines for mitochondrial DNA typing». *Forensic Science International* 110 (2): 79-85.
- CARRALERO, J. (2006): *Matemáticas aplicadas a la genética forense*. Secretaría General Técnica del Ministerio del Interior. Madrid.

- CASANOVA, M.; LERO, Y. P.; BOUCEKKINE, C.; WEISSENBAACH, J.; BISHOP, C.; FELLLOUS, M.; PURRELLO, M.; FIORI, G.; SINISCALCO, M. (1985): «A human Y-linked DNA polymorphism and its potential for estimating genetic and evolutionary distance». *Science* 230 (4732): 1403-1406.
- DE KNIJFF, P. (2000): «Messages through bottlenecks: on the combined use of slow and fast evolving polymorphic markers on the human Y chromosome». *American Journal of Human Genetics* 67 (5): 1055-1061.
- DE KNIJFF, P.; KAYSER, M.; CAGLIA, A.; CORACH, D.; FRETWELL, N.; GEHRIG, C.; GRAZIOSI, G.; HEIDORN, F.; HERRMANN, S.; HERZOG, B. *et al.* (1997): «Chromosome Y microsatellites: population genetic and evolutionary aspects». *International Journal of Legal Medicine* 110: 134-149.
- DI RIENZO, A.; PETERSON, A. C.; GARZA, J. C.; VALDÉS, A. M.; SLATKIN, M.; FREIMER, N. B. (1994): «Mutational processes of simple-sequence repeat loci in human populations». *Proceeding of the National Academy of Sciences of USA* 91 (8): 3166-3170.
- DIZINNO, J. A.; LORD WAYNE, D.; COLLINS-MORTON, M. B.; WILSON, M. R.; GOFF, M. L. (2002): «Mitochondrial DNA sequencing of beetle larvae (Nitidulidae: Omosita): recovered from human bone». *Journal of Forensic Sciences* 47: 1337-1339.
- DUPUY, B. M.; ANDREASSEN, R.; FLONES, A. G.; TOMASSEN, K.; EGELAND, T.; BRION, M.; CARRACEDO, A.; OLAISEN, B. (2001): «Y-chromosome variation in a Norwegian population sample». *Forensic Science International* 117 (3): 163-173.
- DUPUY, B. M.; STENERSEN, M.; EGELAND, T.; OLAISEN, B. (2004): «Y-chromosomal microsatellite mutation rates: differences in mutation rate between and within loci». *Human Mutation* 23 (2): 117-124.
- ELLEGREN, H. (2004): «Microsatellites: simple sequences with complex evolution». *Nature Reviews Genetics* 5 (6): 435-445.
- EXCOFFIER, L.; YANG, Z. (1999): «Substitution rate variation among sites in mitochondrial hypervariable region I of humans and chimpanzees». *Molecular Biology and Evolution* 16: 1357-1368.
- FORSTER, P.; ROHL, A.; LUNNEMANN, P.; BRINKMANN, C.; ZERJAL, T.; TYLER-SMITH, C.; BRINKMANN, B. (2000): «A short tandem repeat-based phylogeny for the human Y chromosome». *American Journal of Human Genetics* 67 (1): 182-196.
- GILES, R. E.; BLANC, H.; CANN, H. M.; WALLACE, D. C. (1980): «Maternal inheritance of human mitochondrial DNA». *Proceeding of the National Academy of Sciences of USA* 77: 6715-6719.
- GREEN, J. L.; HOLMES, A. J.; WESTOBY, M.; OLIVER, I.; BRISCOE, D.; DANGERFIELD, M.; GILLINGS, M.; BEATTIE, A. J. (2003): «Spatial scaling of microbial eukaryote diversity». *Nature* 432: 747-750.
- GUSMÃO, L.; ALVES, C.; SÁNCHEZ-DIZ, P.; ZARRABEITIA, M. T. *et al.* (2008): «Results of the GEP-ISFG collaborative study on an X-STR Decaplex». *Forensic Science International: Genetics Supplement Series* 1: 677-679.

- GUSMÃO, L.; SANCHEZ-DIZ, P.; CALAFELL, F.; MARTÍN, P.; ALONSO, C. A.; ÁLVAREZ-FERNÁNDEZ, F.; ALVES, C.; BORJAS-FAJARDO, L.; BOZZO, W. R.; BRAVO, M. L. *et al.* (2005): «Mutation rates at Y chromosome specific microsatellites». *Human Mutation* 26 (6): 520-528.
- HAMMER, M. F. (1994): «A recent insertion of an alu element on the Y chromosome is a useful marker for human population studies». *Molecular Biology and Evolution* 11 (5): 749-761.
- HAMMER, M. F. (1995): «A recent common ancestry for human Y chromosomes». *Nature* 378: 376-378.
- HAMMER, M. F.; KARAFET, T. M.; REDD, A. J.; JARJANAZI, H.; SANTACHIARABENERECETTI, S.; SOODYALL, H.; ZEGURA, S. L. (2001): «Hierarchical patterns of global human Y-chromosome diversity». *Molecular Biology and Evolution* 18 (7): 1189-1203.
- HAMMER, M. F.; KARAFET, T.; RASANAYAGAM, A.; WOOD, E. T.; ALTHEIDE, T. K.; JENKINS, T.; GRIFFITHS, R. C.; TEMPLETON, A. R.; ZEGURA, S. L. (1998): «Out of Africa and back again: nested cladistic analysis of human Y chromosome variation». *Molecular Biology and Evolution* 15 (4): 427-441.
- HANSON, E. K.; BALLANTYNE, J. (2006): «Comprehensive annotated STR physical map of the human Y chromosome: Forensic implications». *Legal Medicine* 8 (2). Tokio: 110-120.
- HASEGAWA, M.; DI RIENZO, A.; KOCHER, T. D.; WILSON, A. C. (1993): «Toward a more accurate time scale for the human mitochondrial DNA tree». *Journal of Molecular Evolution* 37: 347-354.
- HEYER, E.; PUYMIRAT, J.; DIELTJES, P.; BAKKER, E.; DE KNIJFF, P. (1997): «Estimating Y chromosome specific microsatellite mutation frequencies using deep rooting pedigrees». *Human Molecular Genetics* 6 (5): 799-803.
- HEYER, E.; ZIETKIEWICZ, E.; ROCHOWSKI, A.; YOTOVA, V.; PUYMIRAT, J.; LABUDA, D. (2001): «Phylogenetic and familial estimates of mitochondrial substitution rates: study of control region mutations in deep-rooting pedigrees». *American Journal of Human Genetics* 69: 1113-1126.
- HOLTKEPPER, U.; ROLF, B.; HOHOFF, C.; FORSTER, P.; BRINKMANN, B. (2001): «Mutation rates at two human Y-chromosomal microsatellite loci using small pool PCR techniques». *Human Molecular Genetics* 10 (6): 629-633.
- HORNER-DEVINE, M. C.; LAGE, M.; HUGHES, J.; BOHANNAN, B. J. M. (2004): «A taxa-area relationship for bacteria». *Nature* 432: 750-753.
- HORSWELL, J.; CORDINER, S. J.; MAAS, E. W.; MARTIN, T. M.; SUTHERLAND, B. W.; SPEIR, T. W.; NOGALES, B.; OSBORN, A. M. (2002): «Forensic comparison of soils by bacterial community DNA profiling». *Journal of Forensic Science* 47 (2): 350-353.
- HOWELL, N.; SMEJKAL, C. B.; MACKAY, D. A.; CHINNRY, P. F.; TURNBULL, D. M.; HERRNSTADT, C. (2003): «The pedigree rate of sequence divergence in the human mitochondrial genome: there is a difference between phylogenetic and pedigree rates». *Journal of Human Genetics* 72: 659-670.

- IKEGAYA, H.; IWASE, H. (2004): «Trial for the geographical identification using JC viral genotyping in Japan». *Forensic Science International* 139 (2-3): 169-72.
- INGMAN, M.; KAESMANN, H.; PÄÄBO, S.; GYLLENSTEN, U. (2000): «Mitochondrial genome variation and the origin of modern humans». *Nature* 408: 708-713.
- International Human Genome Sequencing Consortium (2001): «Initial sequencing and analysis of the human genome». *Nature* 409: 860-921.
- JAZIN, E.; SOODYALL, H.; JALONEN, P.; LINDHOLM, E.; STONEKING, M.; GYLLENSTEN, U. (1998): «Mitochondrial mutation rate revisited: hot spots and polymorphism». *Nature Genetics* 18: 109-110.
- JOBLING, M. A.; HURLES, M. E.; TYLER-SMITH, C. (2004): *Human Evolutionary Genetics: origins, peoples and disease*. Garland Sciences Publishing. Londres/ Nueva York.
- JOBLING, M. A.; LO, I. C.; TURNER, D. J.; BOWDEN, G. R.; LEE, A. C.; XUE, Y.; CARVALHO-SILVA, D.; HURLES, M. E.; ADAMS, S. M.; CHANG, Y. M.; KRAAIJENBRINK, T.; HENKE, J.; GUANTI, G.; MCKEOWN, B.; VAN OORSCHOT, R. A.; MITCHELL, R. J.; DE KNIJFF, P.; TYLER-SMITH, C.; PARKIN, E. J. (2007): «Structural variation on the short arm of the human Y chromosome: recurrent multigene deletions encompassing Amelogenin Y». *Human Molecular Genetics* 16 (3): 307-316.
- JOBLING, M. A.; SAMARA, V.; PANDYA, A.; FRETWELL, N.; BERNASCONI, B.; MITCHELL, R. J.; GERELSAIKHAN, T.; DASHNYAM, B.; SAJANTILA, A.; SALO, P. J.; NAKAHORI, Y.; DISTECHE, C. M.; THANGARAJ, K.; SINGH, L.; CRAWFORD, M. H.; TYLER-SMITH, C. (1996): «Recurrent duplication and deletion polymorphisms on the long arm of the Y chromosome in normal males». *Human Molecular Genetics* 5 (11): 1767-1775.
- JOBLING, M. A.; TYLER-SMITH, C. (1995): «Fathers and sons: the Y chromosome and human evolution». *Trends in Genetics* 11 (11): 449-456.
- KAYSER, M.; CAGLIÀ, A.; CORACH, D.; FRETWELL, N.; GEHRIG, C.; GRAZIOSI, G.; HEIDORN, F.; HERRMANN, S.; HERZOG, B.; HIDDING, M. *et al.* (1997): «Evaluation of Y-chromosomal STRs: a multicenter study». *International Journal of Legal Medicine* 110: 125-133, 141-149.
- KAYSER, M.; KITTLER, R.; ERLER, A.; HEDMAN, M.; LEE, A. C.; MOHYUDDIN, A.; MEHDI, S. Q.; ROSSER, Z.; STONEKING, M.; JOBLING, M. A.; SAJANTILA, A.; TYLER-SMITH, C. (2004): «A comprehensive survey of human Y-chromosomal microsatellites». *American Journal of Human Genetics* 74 (6): 1183-1197.
- KAYSER, M.; KRAWCZAK, M.; EXCOFFIER, L.; DIETJES, P.; CORACH, D.; PASCALI, V.; GEHRIG, C.; BERNINI, L. F.; JESPERSEN, J.; BAKKER, E.; ROEWER, L.; DE KNIJFF, P. (2001): «An extensive analysis of Y-chromosomal microsatellite haplotypes in globally dispersed human populations». *American Journal of Human Genetics* 68 (4): 990-1018.
- KAYSER, M.; ROEWER, L.; HEDMAN, M.; HENKE, L.; HENKE, J.; BRAUER, S.; KRUGER, C.; KRAWCZAK, M.; NAGY, M.; DOBOSZ, T.; SZIBOR, R.; DE KNIJFF,

- P.; STONEKING, M.; SAJANTILA, A. (2000): «Characteristics and frequency of germline mutations at microsatellite loci from the human Y chromosome, as revealed by direct observation in father/son pairs». *American Journal of Human Genetics* 66 (5): 1580-1588.
- KAYSER, M.; SAJANTILA, A. (2001): «Mutations at Y-STR loci: implications for paternity testing and forensic analysis». *Forensic Science International* 118 (2-3): 116-121.
 - KOBAYASHI, M.; YAMADA, Y.; ZHANG, W. D.; ITAKURA, Y.; NAGAO, M.; TAKATORI, T. (1993): «Novel detection of plankton from lung tissue by enzymatic digestion method». *Forensic Science International* 60: 81-90.
 - KURIHARA, R.; YAMAMOTO, T.; UCHIHI, R.; LI, S. L.; YOSHIMOTO, T.; OHTAKI, H.; KAMIYAMA, K.; KATSUMATA, Y. (2004): «Mutations in 14 Y-STR loci among Japanese father-son haplotypes». *International Journal of Legal Medicine* 118 (3): 125-131.
 - LINVILLE, J. G.; HAYES, J.; WELLS, J. D. (2004): «Mitochondrial DNA and STR analyses of maggot crop contents: effect of specimen preservation technique». *Journal of Forensic Science* 49 (2): 341-344.
 - LINVILLE, J. G.; WELLS, J. D. (2002): «Surface sterilization of a maggot using bleach does not interfere with mitochondrial DNA analysis of crop contents». *Journal of Forensic Science* 47: 1057-1059.
 - LORD, W. D.; DIZINNO, J. A.; WILSON, M. R.; BUDOWLE, B.; TAPLIN, D.; MEINKING, T. L. (1998): «Isolation, amplification, and sequencing of human mitochondrial DNA obtained from human crab louse, *Phthirus pubis* (L.), blood meals». *Journal of Forensic Science* 43: 1097-1100.
 - LUCOTTE, G.; NGO, K. Y. (1985): «P49f, a highly polymorphic probe that detects TaqI RFLPs on the human Y chromosome». *Nucleic Acids Research* 13: 8285.
 - MANFREDI, G.; THYAGARAJAN, D.; PAPADOPOULOU, L. C.; PALLOTTI, F.; SCHON, E. A. (1997): «The fate of human sperm-derived mtDNA in somatic cells». *American Journal of Human Genetics* 61: 953-960.
 - MEYER, S.; WEISS, G.; VON HAESELER, A. (1999): «Pattern of nucleotide substitution and rate heterogeneity in the hypervariable regions I and II of human mtDNA». *Genetics* 152: 1103-1110.
 - RAHIMI, M.; HENG, N. C. K.; KIESER, J. A.; TOMPKINS, G. R. (2005): «Genotypic comparison of bacteria recovered from human bite marks and teeth using arbitrarily primed PCR». *Journal of Applied Microbiology* 99 (5): 1265-1270.
 - REPPING, S.; VAN DAALEN, S. K. M.; BROWN, L. G.; KORVER, C. M.; LANGE, J.; MARSZALEK, J. D.; PYNTIKOVA, T.; VAN DER VEEN, F.; SKALETISKY, H.; PAGE, D. C.; ROZEN, S. (2006): «High mutation rates have driven extensive structural polymorphism among human Y chromosomes». *Nature Genetics* 38 (4): 463-467.
 - ROBIN, E. D.; WONG, R. (1988): «Mitochondrial DNA molecules and virtual number of mitochondria per cell in mammalian cells». *Journal of Cellular Physiology* 136: 507-513.

- ROEWER, L.; KRAWCZAK, M.; WILLUWEIT, S.; NAGY, M.; ALVES, C.; AMORIM, A.; ANSLINGER, K. *et al.* (2001): «Online reference database of European Y-chromosomal short tandem repeat (STR): haplotypes». *Forensic Science International* 118: 106-113.
- ROZEN, S.; SKALETISKY, H.; MARSZALEK, J. D.; MINX, P. J.; CORDUM, H. S.; WATERSTON, R. H.; WILSON, R. K.; PAGE, D. C. (2003): «Abundant gene conversion between arms of palindromes in human and ape Y chromosomes». *Nature* 423: 873-876.
- SATOH, M.; KUROIWA, T. (1991): «Organization of multiple nucleoids and DNA molecules in mitochondria of a human cell». *Experimental Cell Research* 196 (1): 137-140.
- SCHMIDT, M. M.; HAAF, T.; SOLLEDER, E.; SCHEMPP, W.; LEIPOLDT, M.; HEILBRONNER, H. (1984): «Satellite Y chromosomes: structure, origin and clinical significance». *Human Genetics* 67: 72-85.
- SEIELSTAD, M. T.; HEBERT, J. M.; LIN, A. A.; UNDERHILL, P. A.; IBRAHIM, M.; VOLLRATH, D.; CAVALLI-SFORZA, L.L. (1994): «Construction of human Y-chromosomal haplotypes using a new polymorphic A to G transition». *Human Molecular Genetics* 3 (12): 2159-2161.
- SHEN, P.; WANG, F.; UNDERHILL, P. A.; FRANCO, C.; YANG, W. H.; ROXAS, A.; SUNG, R.; LIN, A. A.; HYMAN, R. W.; VOLLRATH, D.; DAVIS, R. W.; CAVALLI-SFORZA, L. L.; OEFNER, P. (2000): «Population genetic implications from sequence variation in four Y chromosome genes». *Proceeding of the National Academy of Sciences of USA* 97: 7354-7359.
- SHITARA, H.; HAYASHI, J. I.; TAKAHAMA, S.; KANEDA, H.; YONEKAWA, H. (1998): «Maternal inheritance of mouse mtDNA in interspecific hybrids: segregation of the leaked paternal mtDNA followed by the prevention of subsequent paternal leakage». *Genetics* 148: 85-857.
- SKALETISKY, H.; KURODA-KAWAGUCHI, T.; MINX, P. J.; CORDUM, H. S.; HILLIER, L.; BROWN, L. G.; REPPING, S.; PYNTIKOVA, T.; ALI, J.; BIERI, T.; *et al.* (2003): «The male-specific region of the human Y chromosome is a mosaic of discrete sequence classes». *Nature* 423(6942): 825-837.
- STEWART, J. E.; FISHER, C. L.; AAGAARD, P. J.; WILSON, M. R.; ISENBERG, A. R.; POLANSKEY, D.; POKORAK, E.; DIZINNO, J. A.; BUDOWLE, B. (2001): «Length variation in HV2 of the human mitochondrial DNA control region». *Journal of Forensic Science* 46: 862-870.
- STONEKING, M.; SHERRY, S. T.; REDD, A. J.; VIGILANT, L. (1992): «New approaches to dating suggest a recent age for the human mtDNA ancestor». *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 337: 167-175.
- SUTOVSKY, P.; MORENO, R. D.; RAMALHO-SANTOS, J.; DOMINKO, T.; SIMERLY, C.; SCHATTEN, G. (1999): «Ubiquitin tag for sperm mitochondria». *Nature* 402: 371-372.

- TAMURA, K.; NEI, M. (1993): «Estimation of the number of nucleotide substitutions in the control region of mitochondrial DNA in humans and chimpanzees». *Molecular Biology and Evolution* 10: 512-526.
- The Y Chromosome Consortium (2002): «A nomenclature system for the tree of human Y-chromosomal binary haplogroups». *Genome Research* 12 (2): 339-348.
- TULLY, L. A.; PARSONS, T. J.; STEIGHNER, R. J.; HOLLAND, M. M.; MARINO, M. A.; PRENGER, V. L. (2000): «A sensitive denaturing gradient-gel electrophoresis assay reveals a high frequency of heteroplasmy in hypervariable region 1 of the human mtDNA control region». *American Journal of Human Genetics* 67: 432-443.
- UNDERHILL, P. A.; JIN, L.; LIN, A. A.; MEHDI, S. Q.; JENKINS, T.; VOLLRATH, D.; DAVIS, R. W.; CAVALLI-SFORZA, L. L.; OEFNER, P. J. (1997): «Detection of numerous Y chromosome biallelic polymorphisms by denaturing high-performance liquid chromatography». *Genome Research* 7 (10): 996-1005.
- UNDERHILL, P. A.; JIN, L.; ZEMANS, R.; OEFNER, P. J.; CAVALLI-SFORZA, L. L. (1996): «A pre-Columbian Y chromosome-specific transition and its implications for human evolutionary history». *Proceeding of the National Academy of Sciences of USA* 93 (1): 196-200.
- UNDERHILL, P. A.; PASSARINO, G.; LIN, A. A.; SHEN, P.; MIRAZON, M.; FOLEY, R. A.; OEFNER, P. J.; CAVALLI-SFORZA, L. L. (2001): «The phylogeography of Y chromosome binary haplotypes and the origins of modern human populations». *Annals of Human Genetics* 65 (1): 43-62.
- UNDERHILL, P. A.; SHEN, P.; LIN, A. A.; JIN, L.; PASSARINO, G.; YANG, W. H.; KAUFFMAN, E.; BONNE-TAMIR, B.; BERTRANPETIT, J.; FRANICALACCI, P.; IBRAHIM, M.; JENKINS, T.; KIDD, J. R.; MEHDI, S. Q.; SEIELSTAD, M. T.; WELLS, R. S.; PIAZZA, A.; DAVIS, R. W.; FELDMAN, M. W.; CAVALLI-SFORZA, L. L.; OEFNER, P. J. (2000): «Y chromosome sequence variation and the history of human populations». *Nature Genetics* 26 (3): 358-361.
- VENTER, J. C.; ADAMS, M. D.; MYERS, E. W.; LI, P. W.; MURAL, R. J.; SUTTON, G. G.; SMITH, H. O.; YANDELL, M.; EVANS, C. A.; HOLT, R. A. *et al.* (2001): «The sequence of the human genome». *Science* 291 (5507): 1304-1351.
- VERMA, R. S.; DOSIK, H.; SCHARF, T.; LUBS, H. A. (1978): «Length heteromorphisms of fluorescent (f): and non-fluorescent (nf): segments of human Y chromosome: classification, frequencies, and incidence in normal Caucasians». *Journal of Medical Genetics* 15 (4): 277-281.
- VERMA, R. S.; RODRIGUEZ, J.; DOSIK, H. (1982): «The clinical significance of pericentric inversion of the human Y chromosome: a rare "third" type of heteromorphism». *Journal of Heredity* 73 (3): 236-238.
- WAKELEY, J. (1993): «Substitution rate variation among sites in hypervariable region 1 of human mitochondrial DNA». *Journal of Molecular Evolution* 37: 613-623.
- WARD, R. H.; FRAZIER, B. L.; DEW-JAGER, K.; PÄÄBO, S. (1991): «Extensive mitochondrial diversity within a single Amerindian tribe». *Proceeding of the National Academy of Sciences of USA* 88: 8720-8724.

- WEBER, J. L.; WONG, C. (1993): «Mutation of human short tandem repeats». *Human Molecular Genetics* 2 (8): 1123-1128.
- WHITFIELD, L. S.; SULSTON, J. E.; GOODFELLOW, P. N. (1995): «Sequence variation of the human Y chromosome». *Nature* 378 (6555): 379-380.
- XU, X.; PENG, M.; FANG, Z. (2000): «The direction of microsatellite mutations is dependent upon allele length». *Nature Genetics* 24: 396-399.
- ZEHNER, R.; AMENDT, J.; KRETTEK, R. (2004): «STR Typing of Human DNA from Fly Larvae Fed on Decomposing Bodies». *Journal of Forensic Science* 2: 337-340.
- ZHIVOTOVSKY, L. A.; FELDMAN, M. W. (1995): «Microsatellite variability and genetic distances». *Proceeding of the National Academy of Sciences of USA* 92 (25): 11549-11552.
- ZHIVOTOVSKY, L. A.; UNDERHILL, P. A.; CINNIOGLU, C.; KAYSER, M.; MORAR, B.; KIVISILD, T.; SCOZZARI, R.; CRUCIANI, F.; DESTRO-BISOL, G.; SPEDINI, G.; CHAMBERS, G. K.; HERRERA, R. J.; YONG, K. K.; GRESHAM, D.; TOURNEV, I.; FELDMAN, M. W.; KALAYDJIEVA, L. (2004): «The effective mutation rate at Y chromosome short tandem repeats, with application to human population-divergence time». *American Journal of Human Genetics* 74 (1): 50-61.

TANATOLOGÍA

Sánchez, J. A. y Robledo, M. M.

- Acuerdo Internacional, de 26 de octubre de 1973, sobre el Traslado Internacional de Cadáveres, ratificado por España el 5 de diciembre de 1992. *Boletín Oficial del Estado* nº 115 de 13/5/1992. pymes.tsai.es/cita/ley.htm (consultado 20/5/2009).
- CERIANI, C. (2001): «Notas histórico antropológicas sobre la representación de la muerte». *Archivos Argentinos de Pediatría* 99 (4): 326-336. www.sap.org.ar/staticfiles/archivos/2001/arch01_4/326.pdf (consultado 23/11/2005).
- GALA, F. J.; LUPIANI; JIMÉNEZ, M.; CAJA, R.; GUILLEN, C.; GONZÁLEZ, J. M.; VILLAVERDE, M. C.; SÁNCHEZ, A. (2002): «Actitudes psicológicas ante la muerte y el duelo. Una revisión conceptual». *Cuadernos de Medicina Forense* nº 30. scielo.es/scielo.php?pid=1135-7606&script=sci_serial (consultado 23/11/2005).
- GISBERT, J. A.; VILLANUEVA, E. (2004): *Medicina Legal y Toxicología* (6ª edición). Ed. Masson. Barcelona.
- HENSSGE, C. *et al.* (1995): *The estimation of the time since death in the early postmortem period*. Edward Arnold. Londres.
- Ley de 8 de junio de 1957, sobre el Registro Civil. *Boletín Oficial del Estado* nº 151 de 10/6/1957. www.datadiar.com/actual/legislacion/civil/cl000026.htm (consultado 20/5/2009).
- Ley de enjuiciamiento criminal, de 14 de septiembre de 1882, y disposiciones de reforma. *Gaceta* nº 260 de 17/09/1982 a *Gaceta* nº 283 de 10/10/1982 y *Boletín Oficial del Estado* varios números 1883-2006.

- Reglamento de la Ley del Registro Civil, aprobado por Decreto de 14 de noviembre de 1958. *Boletín Oficial del Estado* nº 296 de 11/12/1958. noticias.juridicas.com/base_datos/privado/rrc.html (consultado 20/5/2009).
- Reglamento de Policía Sanitaria Mortuoria de la Comunidad de Madrid. *Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid* de 9/10/1997. www.ucm.es/info/medlegal/departamento/documentos/polmortuoria.pdf (consultado 20/5/2009).
- Reglamento de Policía Sanitaria Mortuoria, aprobado por Decreto 2263/74, de 20 de julio (Gobernación). *Boletín Oficial del Estado* nº 197 de 17/8/1974. www.coam.org/pls/portal/docs/PAGE/COAM/COAM_AYUDA_PROFESIONAL/PDF/20-07-1974.pdf (consultado 20/5/2009).
- SIMONIN, C. (1966): *Medicina Legal y Judicial* (2ª edición). Ed. JIMS. Barcelona.
- SPITZ, C. H. (1992): *Medicolegal Investigation of Death* (3ª edición). Charles C. Thomas. Illinois.
- VELOSO, G. (2001): *Medicina Legal*. Guanabara-Koogan. Río de Janeiro.
- VV. AA. (1979): *Diccionario Terminológico de Ciencias Médicas*. Ed. Salvat. Barcelona.

ESTUDIO MÉDICO-FORENSE DE LAS CONTUSIONES, CAÍDAS Y PRECIPITACIONES. LESIONES PRODUCIDAS POR ARMAS BLANCAS

Sánchez, J. A.

- CASAS, J. D.; RODRÍGUEZ, M. S. (2000): *Manual de Medicina Legal y Forense*. Ed. Colex. Madrid.
- DI MAIO, V.; SUZANNA, E. D. (2003): *Manual de Patología Forense*. E. Díaz de Santos. Madrid.
- GISBERT, J. A.; VILLANUEVA, E. (2004): *Medicina Legal y Toxicología* (6ª edición). Ed. Masson. Barcelona.
- SIMONIN, C. (1982): *Medicina Legal Judicial*. Ed. JIMS. Barcelona.

PERITACIÓN Y ANATOMÍA ORIENTADA A LA MEDICINA FORENSE. TOMA Y ENVÍO DE MUESTRAS

Sánchez, J. A.

- GISBERT, J. A. (2004): *Medicina Legal y Toxicología*. Ed. Masson. Barcelona.
- Normas para la preparación y remisión de muestras objeto de análisis por el Instituto de Toxicología, aprobadas por Orden de 8 de noviembre de 1996.

Boletín Oficial del Estado nº 308 de 23/12/1996. www.mju.es/toxicologia/legislacion/normasMuestras.htm (consultado 26/5/2009).

- ROUVIERE, H. (1972): *Anatomía humana*. Ed. Bailly-Baillere. Madrid.
- Enlaces de interés (consultados 26/5/2009):
 - «Anatomía Humana para Enfermería». www.aibarra.org/Apuntes/Anatomia/default.htm
 - «Anatomía Humana». hipocrates.tripod.com/anatomia

LEVANTAMIENTO DEL CADÁVER

Santiago, A.

- CASAS, J. D. (2000): *Manual de Medicina Legal y Forense*. Ed. Colex. Madrid.
- GISBERT, J. A. (2001): *Medicina Legal y Toxicología*. Ed. Masson. Barcelona.
- LEE, M. (2002): *El testimonio de las moscas*. Ed. Alba. Barcelona.
- Ley de Enjuiciamiento Criminal, de 14 de septiembre de 1882, y disposiciones de reforma. *Gaceta* nº 260 de 17/09/1982 a *Gaceta* nº 283 de 10/10/1982 y *Boletín Oficial del Estado* varios números 1883-2006.
- MAPLES, W. R. (2002): *Los muertos también hablan*. Ed. Alba Editorial. Barcelona.
- MONTIEL, J. (1985): *Criminalística*, tomo II. Ed. Limusa. Bogotá.
- RAJACZKOWSKI, R. E. (1998): *Manual de criminalística*. Ed. Ciudad Argentina. Argentina.
- SIMONIN, C. (1962): *Medicina Legal Judicial*. Ed. JIMS. Barcelona.

PATOLOGÍA FORENSE I. HERIDAS POR ARMAS DE FUEGO

Santiago, A.

- AZNAR, B. (1952): *Criminalística Médico-Legal*, fascículo 2. Ed. Marbán. Madrid.
- DI MAIO, V. J. M. (2007): *Heridas por armas de fuego*. Ed. La Roca. Illinois.
- GISBERT, J. A. (2004): *Medicina Legal y Toxicología*. Ed. Masson. Barcelona.
- MONTIEL, J. (1985): *Criminalística*. Ed. Limusa. Bogotá.
- RAJACZKOWSKI, R. E. (1998): *Manual de criminalística*. Ed. Ciudad Argentina. Argentina.
- SIMONIN, C. (1962): *Medicina Legal Judicial*. Ed. JIMS. Barcelona.
- TARDIEU, A. (1883): *Estudio Médico Legal sobre las Heridas*. Ed. La Popular. Barcelona.

PATOLOGÍA FORENSE II. AHORCADURAS, ESTRANGULACIONES, SUMERSIONES Y SOFOCACIONES

Santiago, A.

- CASAS, J. D. (2000): *Manual de Medicina Legal y Forense*. Ed. Colex. Madrid.
- GISBERT, J. A. (2004): *Medicina Legal y Toxicología*. Ed. Masson. Barcelona.
- GONZÁLEZ, R. (1999): *La investigación criminal*. Ed. Porrúa. México.
- MONTIEL, J. (1985): *Criminalística*, tomo II. Ed. Limusa. Bogotá.
- RAJACZKOWSKI, R. E. (1998): *Manual de criminalística*. Ed. Ciudad Argentina. Argentina.
- SIMONIN, C. (1962): *Medicina Legal Judicial*. Ed. JIMS. Barcelona.

INVESTIGACIÓN DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO

Borobia, C.; Díaz, A. D.; Fernández, A.; García, L. y Uroz, M. V.

- ANTÓN, F.; DE LUIS, J. V. (1992): *Policía científica*, vol. 1. Ed. Tirant lo Blanch. Valencia.
- BOROBIA, C. (2006): *Valoración del daño corporal. Legislación, metodología y prueba pericial médica*. Ed. Elsevier Masson. Barcelona.
- DI MAIO, V. J. M.; DANA, S. E. (2003): *Manual de Patología Forense*. Ed. Díaz Santos. Madrid.
- Dirección General de Tráfico (2009): *Revista Tráfico y Seguridad Vial* nº 194/2009. www.dgt.es/revista/num194/pages/reportajes.html#1 (consultado 15/4/2009).
- GISBERT, J. A. (2005): *Medicina Legal y Toxicología* (6ª edición). Ed. Masson. Barcelona.
- HINOJAL, R.; RODRIGUEZ, J. A. (1987): «Estudio epidemiológico sobre los accidentes de tráfico». *Revista Española de Medicina Legal* 50-51: 88-92.
- MIRALLES, R. C. (2005): *Valoración del daño en el aparato locomotor*. Ed. Masson. Barcelona.
- RODRÍGUEZ, M. (1999): *Biocinemática del accidente de tráfico*. Ed. Díaz de Santos. Madrid.
- VARGAS, E. (1996): *Medicina Legal*. Ed. Trillas. México.

PSIQUIATRÍA FORENSE: SIMULACIÓN Y DISIMULACIÓN DE ENFERMEDADES Y LESIONES. TRASTORNOS DE LA PERSONALIDAD. TOXICOMANÍAS

Marote, R. M. y Pera, F. J.

- American Psychiatric Association (2002): *DSM-IV-TR. Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales*. Ed. Masson. Barcelona.
- ASO, J. (1999): *Traumatismos craneales. Aspectos médico-legales y secuelas*. Ed. Masson. Barcelona.
- ASO, J. (2000): «Simulación en columna vertebral. Curso: Exploración clínica y complementaria del raquis y estructuras relacionadas, orientada a la actividad médico-forense». Centro de Estudios Jurídicos. Madrid.
- Delegación del Gobierno para el Plan Nacional Sobre Drogas (1992): *Actuar es posible*. Ministerio de Sanidad y Consumo. Madrid.
- GILLES, G. M. (1992): «Ions behaviour alter severe brain injury. Two cases report». *American Journal of Occupational Therapy* 48 (3): 247-250.
- GISBERT, J. A. (1998): *Simulación y Disimulación. Medicina Legal y Toxicología* (5ª edición). Ed. Masson. Barcelona.
- HERNÁNDEZ, S. (1979): *Simulación en columna vertebral. VII Reunión sobre patología de la columna vertebral*. Ed. Ferrer Int. Barcelona.
- LETHEM, J.; SLADE, P. D.; TROUP, J. D. G.; BENTLEY, G. (1983): «Outline of a fear-avoidance model f exaggerated pain perception (1)». *Behaviour Research Therapy* 21: 401-408.
- MECHANIC, D. (1962): «The concept of ions behaviour». *Journal of Chronic Disease* 15: 189-194.
- OCCHIPINTI, E.; COLOMBINI, D.; GRIECO, A. (1993): «Study of distribution and characteristics of spinal disorders using a validated questionnaire in a group of male subjects not exposed to occupational spinal risk factors». *Spine* 18: 1150-1159.
- ROGERS, R.; BAGBY, R. M.; DICKENS, S. E. (1992): *SIRS: Structured interview of reported symptoms. Professional manual*. Psychological Assessment Resources Inc. Odessa.
- ROGERS, R.; GILLIS, R. J.; DICKENS, S. E.; BAGBY, R. M. (1991): «Standardized assessment of malingering: validation of the SIRS». *Journal of consulting and Clinical Psychology* 3: 89-96.
- YUDOFKY, S. C. (1989): *Tratado de psiquiatría*. The American Psychiatric Press-Ancora. Barcelona.

MANUAL DE CRIMINALÍSTICA Y CIENCIAS FORENSES

Técnicas forenses aplicadas a la investigación criminal

Este *Manual de Criminalística y Ciencias Forenses* es una obra de gran utilidad dirigida tanto a profesionales de esta área como a estudiantes en formación que se acercan con curiosidad a esta rama de la Medicina Legal. Su lectura les ofrecerá las claves para comprender un mundo tan interesante y diverso como es la investigación en el campo de la Criminalística.

Este volumen es el trabajo más completo y exhaustivo sobre esta área que se ha escrito en español, siendo el resultado de la nutrida experiencia investigadora y docente de un importante grupo de profesores tanto de la Universidad Complutense de Madrid como de otras universidades. En este *Manual de Criminalística y Ciencias Forenses* se presentan, de forma ilustrada y a color, rutinas científicas tan diversas como el estudio forense de fibras o el estudio pericial de suelos. Toda esta serie de tareas comparten el mismo objetivo: ayudar a la resolución de casos criminales y, a tal fin, en este manual se muestran desde las técnicas clásicas aún vigentes hasta las más modernas, donde se incorporan las últimas tecnologías.

María José Anadón Baselga es profesora titular y directora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria de la Universidad Complutense de Madrid, con un largo recorrido dentro de dicha institución y una rica experiencia en el área forense y criminalística.

María del Mar Robledo Actas es directora del Laboratorio de Antropología Forense y Criminalística de la Escuela de Medicina Legal de Madrid perteneciente a la Universidad Complutense de Madrid y profesora del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria de la misma.

ISBN 978-84-7380-338-6



9 788473 603386

