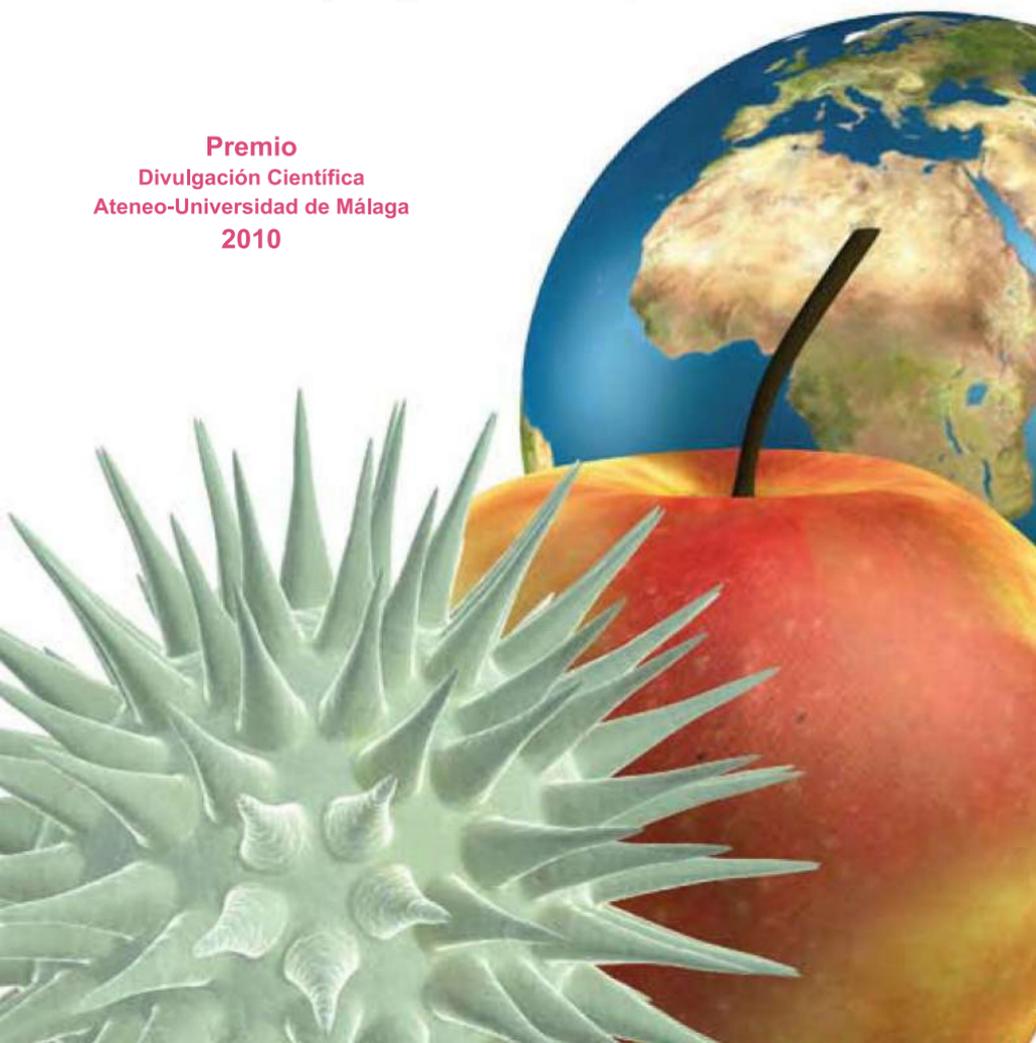


ENCUENTROS CON LA CIENCIA II

Del macrocosmos al microcosmos

Coordinadores: Enrique Viguera, Ana Grande y José Lozano

Premio
Divulgación Científica
Ateneo-Universidad de Málaga
2010



Coordinan: Enrique Viguera, Ana Grande y José Lozano
Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga

Produce: Ciencia Digital, S.L.
Diseño de portada: Patricia Vicente López

ISBN: 978-84-9747-337-8 (Versión digital)



Esta obra está sujeta a una licencia Creative Commons:
Reconocimiento - No comercial - SinObraDerivada (cc-by-nc-nd):
[Http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es)
Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización
pero con el reconocimiento y atribución de los autores.
No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta obra se encuentra depositada en el repositorio institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA), en <http://hdl.handle.net/10630/4255> y puede consultarse también en www.encuentrosconlaciencia.es.

Índice

Prólogo	7
Introducción	9
Mundo RNA y origen de la vida. Carlos Briones Llorente	11
Una aproximación experimental a la evolución viral: desentrañando los papeles de la mutación, la selección y el azar. Santiago F. Elena	27
Simbiosis: aprendiendo a vivir juntos. Amparo Latorre Castillo	39
Bacterias Guerreras, Guardianas y Suicidas. Cayo Ramos Rodríguez	51
De la Biología Molecular a la Biomedicina. Margarita Salas	65
Fármacos Biológicos: ¿Una nueva medicina?. Beatriz Gil Torregrosa	75
La revolución biotecnológica: ¿amenaza u oportunidad para el desarrollo de la humanidad? Luis Ángel Fernández Herrero	87
Biología molecular y Bioinformática: dos ciencias destinadas a entenderse. Francisca Sánchez Jiménez	99
Genética forense: De la escena del crimen al laboratorio. José Antonio Lorente Acosta	115
Genómica Neandertal. Carles Lalueza-Fox	127
Expedición científica a la caldera de Lubá. Isla de Bioko (Guinea Ecuatorial). Ignacio Martín/Pablo Cobos	137
Insectos en ámbar: atrapados en el tiempo. Antonio Arillo Aranda	151
¿Qué dice la ciencia sobre la Sábana Santa? José-Manuel Fernández-Fígares	163
Sobre minerales, metales y gemas. El legado minero de la provincia de Málaga. Juan C. Romero Silva	179
Sonidos de la ciencia: consumo y contrapublicidad. Bartolo Luque Serrano	211
Ciencia a la cazuela. Carmen Cambón Cabezas, Marisol Martín de Frutos y Eduardo Rodríguez Martín	221
Determinismo y azar en el comportamiento humano. Marcos Ruiz Soler	241

ENCUENTROS CON LA
CIENCIA II
Del macrocosmos al microcosmos

Málaga, 2010

Genética forense: De la escena del crimen al laboratorio

José Antonio Lorente Acosta. *Profesor Titular de Medicina Legal y Forense. Universidad de Granada. Director del Laboratorio de Identificación Genética de la Universidad de Granada. Director del Centro Pfizer – Universidad de Granada – Junta de Andalucía de Genómica e Investigación Oncológica (GENYO)*

Introducción al análisis del ADN

Aunque hoy en día nos parezca que siempre ha sido posible identificar plenamente a las personas a partir de un sólo pelo o de las células depositadas en la boquilla de un cigarrillo, esto, evidentemente, no es así.

La identificación por medio de ADN, que es lo que llamamos "genética forense" nació en 1985, cuando el Profesor Alec Jeffreys, de la Universidad de Leicester en el Reino Unido, descubrió y describió por primera vez la capacidad identificadora del ADN. Esto lo hizo estudiando no los genes en sí (que son demasiado parecidos entre las personas como para diferenciar fácilmente a unos de otros), sino el resto del ADN, el llamado "ADN no codificante" o "ADN basura" (*junk DNA*) como algunos llegaron a calificarlo, y que supone el 96-97% del total del ADN del ser humano.

Los desarrollos fueron rápidos entre 1986 y 1989, pero fue a partir de 1989-1990 cuando con la aplicación sistemática de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) que poco antes había inventado Kary B. Mullis y que en 1993 recibió el Premio Nobel de Química por esta invención, que revolucionó todo el mundo de la genética y de la biología molecular, no sólo el área forense. Es muy ilustrativo el poder ver la completa página web del Dr. Mullis (www.karymullis.com), donde nos explica cómo inventó este proceso y las aplicaciones del mismo, con esquemas e imágenes esclarecedoras y bellas a la vez.

De estos avances se ha beneficiado realmente mucho la genética forense como rama de la criminalística, en lo referente a identificación de indicios biológicos criminales. También el derecho y la sociedad han tenido sus beneficios en el proceso civil, en los estudios biológicos de la paternidad y maternidad

Las grandes ventajas de la genética forense

La revolución originada por el ADN se puede resumir en los siguientes apartados, que resume los avances de la investigación genética forense:

1. **Aumento de la capacidad de discriminación:** la probabilidad de que un determinado indicio provenga de una persona en particular ha pasado a ser de uno entre cien personas (por ejemplo, usando marcadores clásicos como grupos sanguíneos o polimorfismos de enzimas o proteínas de la sangre), a ser ahora de uno entre cincuenta mil millones de personas, también como ejemplo ilustrativo.

2. **Posibilidad de estudiar indicios mínimos:** indicios biológicos mínimos, casi invisibles al ojo humano, pueden ser ahora analizados adecuadamente con el uso de la PCR; con ello, el estudio meticoloso de la escena del crimen cobra mayor importancia.

3. **Capacidad de estudiar cualquier tipo de indicio biológico:** pequeñas manchas de sangre o semen, de saliva, fragmentos de pelos o cabellos, y en general cualquier parte del cuerpo humano (piel, órganos, huesos) puede ser estudiada con idénticos métodos, obteniendo similares resultados, ya que todo el ADN proviene de una misma y única célula (óvulo fecundado).

4. **Viabilidad para estudiar indicios antiguos y degradados:** algunas muestras e indicios biológicos que se recuperan bastante tiempo después de acontecidos los hechos (exhumaciones, escenas del crimen desconocidas que salen a la luz cuando se detiene a personas implicadas, objetos manchados de sangre que permanecieron escondidos, etc.). El material biológico, aunque esté degradado, puede ser analizado en muchos casos, obteniendo información útil para la investigación.

5. **Creación de bases de datos:** los datos genéticos, finalmente manejados y almacenados como números y letras, pueden ser fácilmente almacenados en computadores y, por medio de los adecuados programas informáticos, servir como bases para la comparación de indicios y sospechosos, consiguiendo la identificación en investigaciones criminales, sobre todo de los criminales en serie o, en general, de personas que cometen diversos crímenes. Esta es la base del sistema CODIS en Estados Unidos, o del Programa Fénix de identificación de personas desaparecidas de España.

6. **Posibilidad de analizar muestras biológicas no humanas:** técnicas similares se pueden aplicar para identificar indicios biológicos no humanos, como sangre o pelos de gatos, perros, semillas de plantas, restos de drogas vegetales, etc. Todo ello permite extender el abanico de la investigación criminal a campos que antes estaban muy vedados o que tenían muchas limitaciones forenses.

La criminalística médico-forense

Nunca hay que olvidar que el laboratorio trabaja con las muestras que se le envían, y es la correcta toma de estas muestras e indicios la máxima garantía de que los resultados sean positivos y útiles en la investigación criminal.

El médico forense y la policía, por lo tanto, ocupan ahora, si cabe, un papel aún más importante en la búsqueda, recogida y envío de las muestras al laboratorio, ya que ha de prestar una mayor atención a indicios biológicos muy pequeños o mínimos como manchas casi invisibles de sangre, saliva, semen, pelos, etc...

Hay, pues, que olvidarse de lo que yo he denominado el "**síndrome del air-bag forense**", consistente en confiar en exceso en los avances técnicos, dejando a un lado la formación y prudencia en la toma de muestras. Igual que el *air-bag* de los automóviles puede generar un exceso de confianza en los automovilistas, que les haría ser menos prudentes e incluso pagar con su vida y la de los demás, el tener aparatos sofisticados para el análisis del ADN no nos releva de la necesidad de estar perfectamente capacitados para el clásico trabajo de toma de muestras biológicas.

Los riesgos de contaminación de muestras biológicas

Los indicios biológicos han de ser buscados y recogidos en el lugar de los hechos, por lo que se debe exigir una **perfecta detección, identificación y aislamiento** de los mismos para evitar la posibilidad de contaminación.

Existen dos tipos fundamentales de "contaminación" que pueden afectar a las muestras e indicios biológicos criminales: la contaminación química y la biológica.

Se denomina contaminación química a la presencia de productos de origen bioquímico o químico (tintes, colorantes, pinturas, esmaltes, carburantes, aceites, ...) que van a dificultar los procesos de análisis en el laboratorio, bien sea durante la extracción, cuantificación, restricción o amplificación del ADN.

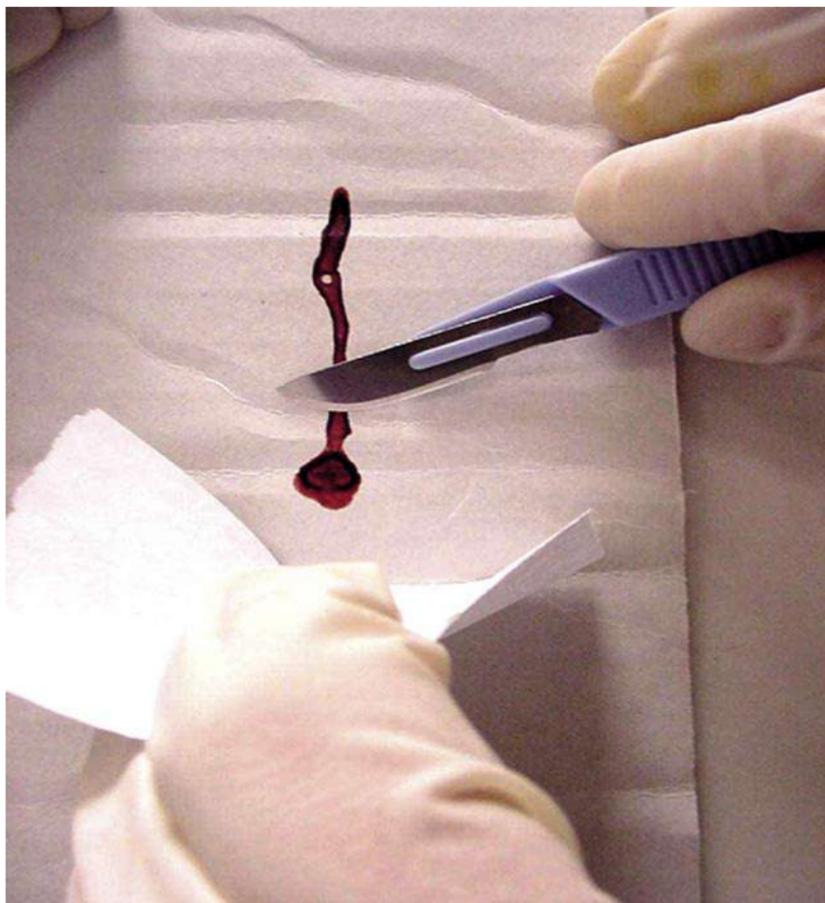
Este tipo de contaminación es muchas veces inevitable, ya que suele encontrarse en el sustrato donde cae la mancha (tierra, pantalón vaquero, ...) y puede ser penosa para el laboratorio, pues impide que las investigaciones lleguen a buen puerto. Cada proceso de análisis de los mencionados tiene variaciones técnicas que se pueden aplicar cuando se sospecha de una contaminación química, con lo que en gran número de los casos se alcanza una solución satisfactoria, pese a que alarga enormemente (semanas) el proceso de análisis.

Pero existe también la llamada **contaminación biológica**, que es propia de indicios humanos, al consistir en la mezcla de ADN que no pertenece al indicio con ADN del indicio.

Y es que las técnicas empleadas en la actualidad tienen gran efectividad para obtener información de indicios biológicos mínimos, invisibles muchos de ellos para el ojo humano. La reacción en cadena de la polimerasa (PCR) o la secuenciación de ADN mitocondrial por técnicas de secuenciación en ciclos (*cycle-sequencing*) son capaces de amplificar **una sola célula** que contenga ADN de una persona **aunque esté mezclada con miles de células** con ADN de otra persona. Esta circunstancia, denominada genéricamente "**sensibilidad**" es un grave peligro en investigación criminal, ya que una mezcla indeseada de muestras puede originar graves problemas. Por ello, es necesario tomar, desde el comienzo de la inves-

tigación, las máximas precauciones posibles, hasta llegar a extremos que bien pueden ser calificados, por personas ignorantes de esta temática, de "ridículos" o "exagerados".

La contaminación biológica de los indicios criminales puede ser de tres tipos: anterior o previa, coetánea o paralela y posterior, que a su vez puede ser accidental, negligente o criminal, según la relación que guarden con el hecho criminal que motiva la investigación. Todas ellas son peligrosas, en tanto en cuanto pueden tergiversar o inutilizar los resultados, aunque la más peligrosa de todas es la posterior, ya que no ofrece ningún dato útil a la investigación y es totalmente evitable.



La contaminación se descubre normalmente en el laboratorio, cuando al analizar los indicios se detecta ADN de más de una persona. En este momento el investigador debe de plantearse cuál es el origen de la contaminación, para poder adoptar los protocolos analíticos oportunos y poder valorar correctamente los resultados. Por ello, el personal de los laboratorios debe de tener la garantía de que la contaminación no se ha producido criminal o negligentemente, con posterioridad al delito investigado, pues es una dificultad evitable que puede invalidar la prueba ya en el laboratorio (por existir dificultades técnicas al analizar las muestras) o servir de base para que alguna de las partes presentes en el proceso (defensa, acusación particular, Ministerio Fiscal) puedan pedir, en buena lógica, la anulación de la prueba (al no estar los resultados claros), o reclamen la co-autoría de los hechos por parte de otras personas desconocidas y no procesadas.

Contaminación anterior o previa: se debe a la presencia de material biológico con ADN en el lugar donde luego van a aparecer los indicios, y se caracteriza por ser **inevitable** (al estar presente antes de que se depositen los indicios criminales), por ser **parcialmente valorable** (al poder descubrirse que es accidental, por ejemplo en sustratos muy contaminados) y por ser **potencialmente útil** (el producto contaminante puede ser del criminal, de algún coautor o de una víctima previa).



Existen métodos de recogida de muestras que tratan de evitar la inclusión de ADN contaminante al recoger en el indicio criminal. Con este fin, por ejemplo, se puede tomar parte de una mancha de sangre o semen por medio de un hisopo de algodón, en vez de recortar o raspar la mancha completa del sustrato donde esté. Hay muchas variantes de este tipo de *trucos* técnicos, que cada laboratorio utiliza cuando lo estima procedente y de acuerdo con sus experiencias.

Paralelamente, en los laboratorios hay que realizar **controles de despistaje de contaminación o controles negativos del indicio**, consistentes en la amplificación de material obtenido de trozos del sustrato que tiene el indicio. Por ejemplo, si encontramos una mancha de sangre en un zapato de cuero, no sólo hemos de intentar extraer el ADN del trozo de cuero que tiene la sangre, sino que hemos de coger uno o más trozos de cuero de otras zonas del zapato y tratarlos como si tuviesen ADN, sometiéndolos a procesos de extracción. Si en un trozo de cuero que no estaba manchado (control) aparece ADN, hemos de deducir que existe una contaminación, que habrá que valorar adecuadamente de acuerdo a las circunstancias del caso.

Este tipo de contaminación puede ser, en ciertos casos y circunstancias, de utilidad, ya que puede ofrecernos pistas sobre diversas circunstancias relacionadas con un sustrato: a veces, sustratos que por sus características deberían de estar totalmente limpios, aparecen muy contaminados con ADN de múltiples orígenes, o viceversa.

En general, las contaminaciones previas que más utilidad tienen por la información que pueden ofrecer, son propias de los casos en que el arma homicida era una pertenencia personal del autor del crimen (arma blanca o de fuego, correas o cinturones, lazos y pañuelos en casos de asfixias, ...).

Contaminación paralela o concomitante: el ADN de un indicio se mezcla con ADN de otro origen en el momento de los hechos, y al igual que la contaminación anterior o previa se caracteriza por ser **inevitable, valorable y útil**.

Se diferencia, en la práctica, de la "contaminación anterior" en que la paralela es **valorable y útil**, ya que los indicios que se mezclan son de perso-

nas envueltas en los hechos criminales, mientras que en la contaminación anterior, los indicios pueden no tener relación con los hechos violentos, como de hecho así ocurre en la mayoría de esos supuestos.

Es propia de **hechos especialmente violentos**, en los que tanto la víctima como el agresor depositan material biológico con ADN en un mismo sustrato y al mismo tiempo. Hay que remitirse en estos casos al ejemplo más típico: dos personas heridas y perdiendo sangre que se enzarcan en una lucha; en muchos lugares aparecerá sangre de los dos mezclada. También se pueden dar mezclas muy variadas de diversos fluidos, cuales son el semen, la saliva y la orina (en casos más excepcionales, pueden servir de origen del ADN las heces y restos de piel, por ejemplo, de la víctima en las uñas del agresor o viceversa).

También es propio de criminales desorganizados o con un alto componente de tensión emocional durante los hechos dejar huellas o rastros evidentes, mientras que no lo es de criminales con experiencia, ni de crímenes bien planeados o ejecutados, actuando como factor común en los primeros el "stress" o una excesiva ansiedad debido a la situación en la que se encuentra el autor (por haber sido parcialmente descubierto, por tener que abandonar el lugar de los hechos de prisa, por herirse con posterioridad, etc...).

Sin embargo, los casos paradigmáticos de *contaminación paralela o concomitante* son los supuestos de violación (vaginal, anal u oral) en los que el semen del criminal se mezcla con células y fluidos de la diversas estructuras anatómicas de la víctima. En estos casos, la contaminación es conocida "a priori" por el investigador, y puede ser manejada adecuadamente tomando controles de la víctima: cuando aparezcan dos ADN diferentes, uno será conocido por ser de la víctima, siendo el restante del violador.

Contaminación posterior: se debe al depósito de ADN de diversos orígenes en los indicios y sustratos criminales con posterioridad al momento de los hechos. Puede tener un origen accidental, negligente (culposo) o criminal (intencional).

Se caracteriza por ser totalmente **evitable**, parcialmente **valorable** (sólo en los casos en que se pueda demostrar que la contaminación es posterior,



identificando al donante del material biológico) e **inútil** (al no aportar datos de interés a la investigación).

Contaminación posterior accidental: en el período de tiempo transcurrido entre la ejecución de un hecho criminal y el momento en que se encuentran y aíslan los indicios (que puede oscilar desde pocos minutos hasta años), es obvio que se pueden depositar otros materiales biológicos que contengan un ADN que normalmente no va a estar relacionado con los hechos.

Vano intento, condenado ya al fracaso, sería el de tratar de describir, siquiera esquematizar, cuáles son las posibles circunstancias y combinaciones que pueden darse. Básicamente deben distinguirse los indicios que aparecen a la **intemperie** (susceptibles de ser afectados por fenómenos meteorológicos y de entrar en contacto con animales, insectos, personas y objetos contaminados) y que son fácilmente contaminables, de aquellos que aparecen en lugares **aislados** (enterrados, en habitaciones o espacios cerrados, etc...) en los que la contaminación posterior es más difícil, pero no imposible.

En general, cualquier indicio puede contaminarse "a posteriori" con material que contenga ADN y que sea arrastrado por **animales salvajes** y

domésticos, insectos (especialmente moscas y mosquitos), **personas ajenas a la investigación** que los tocan desconociendo la importancia que pueden tener, o incluso tratando de ayudar a los investigadores o por **fenómenos naturales y meteorológicos** (viento que arrastra pelos, lluvia que mezcla muestras diferentes).

Con una valoración siempre prudente de los hallazgos, la contaminación posterior accidental nos puede dar datos de la situación en que ha permanecido el indicio, incluso sobre cambios de ubicación (accidentales o intencionados) que haya podido sufrir hasta el momento en que fue encontrado.

Contaminación posterior negligente: se debe a la culpa -por desconocimiento o falta de celo profesional- de aquéllas personas que manejan los indicios y tienen obligación de preservarlo perfectamente.

Para evitarla procede **aislar el lugar de los hechos** lo más rápidamente posible y con los medios que inicialmente haya al alcance; en principio, y hasta poder valorar claramente la situación, más vale "aislar por exceso" que por defecto. Estos datos deberían de ser conocidos por todos los agentes de las fuerzas de orden público, cuerpos superiores de investigación (policía científica, médicos forenses), bomberos, fuerzas de protección civil, socorrismo, Cruz Roja, etc..., en resumen, todas aquellas personas que pueden verse implicadas en la investigación y resolución de hechos violentos.

Como bien afirma mi maestro, el Catedrático de Medicina Legal de la Universidad de Granada Enrique Villanueva, en estos casos "*urge esperar*". Cuán típico es ver en las escenas criminales a múltiples curiosos, a pocos pasos o incluso dentro de la zona o zonas donde puede haber indicios, muchos de ellos fumando y arrojando colillas en las cercanías. Todavía se puede observar en algunos casos cómo los investigadores recogen los indicios sin portar los elementos necesarios. Otras veces se ve a testigos explicando a los investigadores cómo ocurrieron los hechos, para lo cual los mismos repiten lo que vieron sobre el mismo escenario, andando y tocando pruebas que pueden ser importantes.

Contaminación posterior criminal o intencional: pese a darse en muy pocos casos y siempre en extrañas circunstancias, ya se han descrito casos en Estados Unidos. Se produce cuando alguna persona tiene acceso a los

indicios, bien en el lugar de los hechos, bien (más raro) durante su transporte o en los lugares donde se almacenan, para proceder a cambiarlos, tergiversarlos o destruirlos.

Por ello ha de destacarse en este lugar la importancia que tiene el control y la vigilancia de los indicios de este tipo y la necesidad de mantener la denominada “*cadena de custodia*”, dejando constancia escrita de qué personas han tenido acceso a los indicios y quiénes han sido los responsables de su transporte y almacenamiento desde el momento de la recogida hasta que termina su análisis en el laboratorio.

Recogida de indicios biológicos por investigadores

Como se consideró anteriormente, la investigación sumarial consta de tres grandes etapas:

1. Búsqueda en la escena del crimen (lugar de los hechos) o sobre las víctimas y/o los implicados.
2. Recogida y envío al laboratorio (cadena de custodia).
3. Exámenes analíticos y su interpretación.

Durante la *recogida, conservación y envío*, debe evitarse la contaminación, ya que cualquier material orgánico procedente de los manipuladores (contaminación posterior negligente) puede imposibilitar el estudio. En este sentido deben seguirse las siguientes **normas generales**:

- 1.- Procurar las máximas condiciones de **esterilidad**, usando guantes, paños (fundas de plástico de un solo uso que se ponen en los zapatos) si se entra en la escena del crimen, e instrumentos esterilizados o adecuadamente limpiados.
- 2.- Volver a limpiar o utilizar un **nuevo instrumento** para recoger un indicio diferente. En caso de que se estén utilizando guantes, cambiarlos si contactaron con el anterior.
- 3.- Usar **diferentes recipientes** para cada indicio, aunque hayan sido recogidos en lugares muy próximos o estuviesen juntos (pelos que aparecen juntos, ...). Si para el envío se utilizan sobres limpios **no cerrarlos nunca humedeciendo con saliva**, ya que se puede contaminar la muestra; procede usar celofán u otro medio adhesivo.
- 4.- **Etiquetar perfectamente** cada uno de los recipientes haciendo refe-

rencia al menos a: fecha, hora, identificación de la víctima, localización del indicio, tipo de indicio y número del mismo, nombre de la persona que lo recoge y referencia al caso judicial (número de diligencias o sumario).

5.- **Enviar** lo más **rápidamente** posible al laboratorio, asegurando que las muestras que lo necesiten lo hagan en las condiciones adecuadas (frío).

6.- Es fundamental y básico tomar **muestras testigo** de la víctima y/o sospechoso. Lo haremos a ser posible extrayéndole sangre, o en su defecto mediante un raspado o frotis de la cavidad bucal (siempre con autorización de la persona implicada).

7.- Tomar la **filiación de todas las personas** que han intervenido o colaborado en la recogida de las evidencias por si se produce algún problema de contaminación cruzada.

Observamos, pues, cómo el papel del personal investigador (Guardia Civil, Policía, médico forense, incluso médicos de urgencias) no sólo no se ve desplazado por los avances técnicos, si no que, al contrario, los mismos requieren cada vez un forense más preparado y capacitado, como primer eslabón irremplazable en la cadena de estudio de todos los casos de interés judicial.

PARA SABER MÁS

Lorente, M., Lorente, J.A. y Villanueva, E. (1994). La medicina clínica ante los indicios biológicos criminales y la identificación genética. *Medicina Clínica* 102: 113-115.

Lorente, J.A. (1994). EL ADN mitocondrial: los orígenes del ser humano y la identificación médico-legal. *JANO* 1068: 46-50.

Villanueva, E. y Castilla, J. (1990). "Criminalística e Identificación". En: Gisbert, J.A.: *Medicina Legal y Toxicología*. Ed. Salvat, Barcelona.

ACERCAR la ciencia al ciudadano... éste es el objetivo principal de *Encuentros con la Ciencia*, un espacio para la presentación y diálogo sobre los más recientes y señalados descubrimientos científicos. Desde el año 2004 venimos organizando las actividades de *Encuentros con la Ciencia* con el objetivo principal de fomentar la cultura científica y presentar, de manos de sus protagonistas, los avances científicos actuales. La labor investigadora de los propios científicos españoles no es suficientemente conocida por el público. En nuestra opinión, resulta evidente la necesidad de dar a conocer la ciencia actual a los ciudadanos y, al mismo tiempo fomentar su interacción con los científicos. *Encuentros con la Ciencia* pretende cumplir tres objetivos específicos: **hacer accesible la ciencia** que se está desarrollando actualmente en los centros de investigación españoles, **sensibilizar al ciudadano** acerca de la importancia de la Ciencia en el día a día, e **implicar a la propia comunidad científica** en esa difusión del conocimiento.



* AMBITO cultural