

ÍNDICE

| | |
|-------------------|-----|
| Presentación..... | 017 |
|-------------------|-----|

TEMA 1. LA QUÍMICA EN EL CONTEXTO DE LA CIENCIA FORENSE

Soledad Esteban Santos

| | |
|--|----|
| 1.1. Introducción | 21 |
| 1.2. La ciencia forense | 22 |
| 1.2.1. Aspectos etimológicos | 23 |
| 1.3. Origen y evolución de la ciencia forense | 23 |
| 1.4. El laboratorio forense | 30 |
| 1.4.1. Centros e instalaciones de la ciencia forense en España..... | 31 |
| 1.5. Escena del crimen | 32 |
| 1.5.1. Protección de la escena del crimen | 34 |
| 1.6. Evidencias e indicios | 34 |
| 1.6.1. Clasificación de las evidencias | 35 |
| 1.6.2. Búsqueda sistemática de las evidencias | 38 |
| 1.6.3. Selección de las evidencias | 38 |
| 1.7. Estudio de las evidencias: aspectos generales | 39 |
| 1.8. La química forense | 42 |
| 1.9. Aspectos legales en el trabajo forense | 43 |
| 1.9.1. Cadena de custodia | 43 |
| 1.9.2. Informe pericial | 44 |
| EJERCICIOS Y SOLUCIONES | 46 |
| LECTURA: «El caso de Colin Pitchfork y la evolución de la ciencia forense».. | 48 |

TEMA 2. FUNDAMENTO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS EN QUÍMICA FORENSE

Soledad Esteban Santos

| | |
|-------------------------|-----|
| 2.1. Introducción | 051 |
|-------------------------|-----|

| | |
|---|----|
| ■ LAS EVIDENCIAS EN LA ESCENA DEL CRIMEN | 52 |
| 2.2. Obtención y envío de evidencias desde la escena del crimen | 52 |
| 2.2.1. Localización de evidencias | 52 |
| 2.2.2. Recogidas de evidencias | 54 |
| 2.2.3. Embalaje de evidencias | 55 |
| 2.2.4. Expediente de envío | 55 |
| ■ LAS EVIDENCIAS EN EL LABORATORIO | 56 |
| 2.3. Recepción de evidencias | 56 |
| 2.4. Estudio preliminar | 56 |
| 2.5. Procesos de separación | 57 |
| 2.5.1. Técnicas químicas clásicas | 58 |
| 2.5.2. Técnicas cromatográficas | 58 |
| 2.5.3. Técnicas cromatográficas en el análisis forense | 61 |
| 2.5.4. Electroforesis | 64 |
| 2.6. Análisis forense: técnicas instrumentales | 65 |
| 2.7. Microscopía | 66 |
| 2.7.1. Tipos de microscopios | 67 |
| 2.8. Espectroscopía | 71 |
| 2.8.1. Espectroscopía UV y visible | 73 |
| 2.8.2. Espectroscopía IR | 74 |
| 2.8.3. Espectroscopía Raman | 74 |
| 2.8.4. Espectroscopía de emisión rayos X | 75 |
| 2.8.5. Otros métodos espectroscópicos | 75 |
| 2.8.6. Espectrometría de masas | 75 |
| 2.9. Otras técnicas instrumentales | 76 |
| EJERCICIOS Y SOLUCIONES | 78 |
| LECTURA: «Rayos láser» | 80 |

TEMA 3. INVESTIGACIÓN FORENSE DE PINTURAS Y DOCUMENTOS

Soledad Esteban Santos

| | |
|--|----|
| 3.1. Introducción | 83 |
| ■ LA QUÍMICA Y EL COLOR | 84 |
| 3.2. Colorante, tinte, pigmento | 84 |
| 3.3. ¿Por qué las sustancias tienen color? | 85 |

| | |
|---|-----|
| 3.4. El color en los tintes | 86 |
| 3.4.1. Grupos cromóforos y auxocromos | 86 |
| 3.4.2. La causa del color en los tintes | 87 |
| 3.4.3. Clasificación de los tintes | 88 |
| 3.5. El color en los pigmentos | 90 |
| 3.6. La investigación forense y el color | 90 |
| ■ INVESTIGACIÓN FORENSE DE PINTURAS | 91 |
| 3.7. Pinturas como evidencia | 91 |
| 3.7.1. Forma de localizar, recoger y transportar las evidencias de pinturas | 92 |
| 3.8. Análisis forense de pinturas | 93 |
| 3.8.1. Composición de las pinturas | 93 |
| 3.8.2. Problemas forenses a resolver | 94 |
| 3.8.3. Técnicas analíticas para pinturas | 96 |
| ■ INVESTIGACIÓN FORENSE DE DOCUMENTOS | 99 |
| 3.9. Documentos cuestionados | 99 |
| 3.9.1. Forma de recoger y transportar los documentos cuestionados | 100 |
| 3.10. Análisis forense de tintas | 101 |
| 3.10.1. Composición de las tintas | 101 |
| 3.10.2. Técnicas analíticas para tintas | 102 |
| 3.11. Tintas invisibles, documentos secretos | 105 |
| 3.12. Análisis forense del papel | 107 |
| 3.12.1. Composición química del papel | 107 |
| 3.12.2. Técnicas analíticas del papel | 108 |
| 3.13. Alteraciones en los documentos | 111 |
| 3.13.1. Borrar el texto | 111 |
| 3.13.2. Cambiar el texto | 111 |
| 3.13.3. Tachar el texto | 112 |
| 3.13.4. Marcas de presión o escritura latente | 113 |
| 3.13.5. Otros tipos de alteraciones | 114 |
| 3.14. Documentos impresos | 115 |
| 3.15. Datación de documentos | 115 |
| EJERCICIOS Y SOLUCIONES | 118 |
| LECTURA: «Falsificación de papel moneda: un delito más frecuente de lo que pudiera pensarse» | 120 |

**TEMA 4. LA QUÍMICA EN LA INVESTIGACIÓN FORENSE
DE FIBRAS TEXTILES**

M.^a del Pilar Cornago Ramírez

| | |
|---|-----|
| 4.1. Introducción | 125 |
| 4.2. Qué son las fibras | 126 |
| 4.2.1. Clasificación de las fibras | 127 |
| 4.2.2. Características de las fibras | 127 |
| 4.3. Fibras naturales: tipos y propiedades | 130 |
| 4.3.1. Fibras de origen animal | 130 |
| 4.3.2. Fibras de origen vegetal | 133 |
| 4.3.3. Fibras de origen mineral | 135 |
| 4.4. Fibras manufacturadas: tipos y propiedades | 136 |
| 4.4.1. Fibras artificiales | 136 |
| 4.4.2. Fibras sintéticas | 138 |
| 4.4.3. Otras fibras | 142 |
| 4.5. Investigación forense de fibras | 142 |
| 4.5.1. Búsqueda de pruebas | 142 |
| 4.5.2. Recogida de pruebas | 143 |
| 4.5.3. Cómo minimizar el impacto de las contaminaciones | 144 |
| 4.6. Identificación y comparación de fibras | 144 |
| 4.6.1. Técnicas de microscopía | 146 |
| 4.6.2. Técnicas espectroscópicas | 147 |
| 4.6.3. Técnicas cromatográficas | 148 |
| 4.6.4. Otras técnicas | 150 |
| 4.7. Importancia de las fibras como evidencia | 152 |
| EJERCICIOS Y SOLUCIONES | 153 |
| LECTURA: «Pashmina y shahtoosh, dos tipos de lana muy apreciadas» | 156 |

**TEMA 5. PRUEBAS QUÍMICAS APLICADAS A LA DETECCIÓN
DE RESTOS DE ACELERADORES Y EXPLOSIVOS**

M.^a del Pilar Cornago Ramírez

| | |
|--|-----|
| 5.1. Introducción | 159 |
| 5.2. Reacciones de combustión | 160 |
| 5.2.1. Termoquímica de la combustión | 161 |
| 5.2.2. Cinética de la combustión | 163 |

| | |
|--|-----|
| 5.3. Química del fuego | 163 |
| 5.3.1. Parámetros característicos de las sustancias combustibles | 164 |
| 5.4. Búsqueda de evidencias en la investigación forense de incendios | 168 |
| 5.4.1. Evidencias observadas durante el desarrollo del incendio | 168 |
| 5.4.2. Evidencias de utilidad una vez extinguido el fuego | 171 |
| 5.5. Identificación en el laboratorio forense | 173 |
| 5.5.1. Preparación de las muestras | 173 |
| 5.5.2. Técnicas de análisis | 175 |
| 5.5.3. Interpretación de resultados | 177 |
| 5.6. En la escena de una explosión | 178 |
| 5.6.1. Explosión y explosivo | 178 |
| 5.6.2. Química de una explosión | 179 |
| 5.6.3. Tipos de explosión | 182 |
| 5.6.4. Tipos de explosivo | 183 |
| 5.7. Detección de explosivos | 186 |
| 5.8. Investigación forense de una explosión | 187 |
| 5.8.1. Dónde y cómo se originó la explosión | 187 |
| 5.8.2. Trabajo en el laboratorio forense | 189 |
| 5.8.3. Accidente o intencionalidad | 192 |
| 5.8.4. Quién causó la explosión | 193 |
| EJERCICIOS Y SOLUCIONES | 194 |
| LECTURA: «Desarrollando una pista» | 196 |

TEMA 6. BALÍSTICA FORENSE. DETECCIÓN DE RESIDUOS DE DISPARO

M.^a del Pilar Cornago Ramírez

| | |
|---|-----|
| 6.1. Introducción | 199 |
| 6.2. Balística forense | 200 |
| 6.3. Balística instrumental | 201 |
| 6.3.1. Características de las armas de fuego | 203 |
| 6.3.2. Características de la munición | 204 |
| 6.4. Balística interior | 206 |
| 6.4.1. La deflagración | 206 |
| 6.4.2. Velocidad de salida de los proyectiles | 207 |
| 6.4.3. Mezclas deflagrantes | 208 |

| | |
|--|-----|
| 6.5. Balística exterior | 210 |
| 6.6. Balística de efectos o balística terminal | 211 |
| 6.7. Trabajo de investigación forense | 212 |
| 6.7.1. Trabajo en la escena del suceso | 213 |
| 6.7.2. Trabajo en el laboratorio | 214 |
| 6.7.3. Determinación de restos de disparo | 217 |
| 6.7.4. Importancia de la determinación de restos de disparo | 221 |
| 6.7.5. Bases de datos como ayuda en la investigación forense | 222 |
| 6.8. Investigadores forenses en los tribunales de justicia | 222 |
| EJERCICIOS Y SOLUCIONES | 224 |
| LECTURA: «Números de serie; su importancia y recuperación» | 227 |

TEMA 7. ESTUDIO FORENSE DE HUELLAS DACTILARES

M.^a del Pilar Cornago Ramírez

| | |
|--|-----|
| 7.1. Introducción | 231 |
| 7.2. Perspectiva histórica | 232 |
| 7.3. Piel de fricción, morfología de las crestas papilares | 236 |
| 7.3.1. Características de las crestas papilares | 237 |
| 7.4. Lofoscopia y dactiloscopia | 238 |
| 7.4.1. Topografía de los dactilogramas | 239 |
| 7.4.2. Tipos de dactilogramas y simbología | 240 |
| 7.4.3. Proceso de identificación | 242 |
| 7.4.4. Fórmula dactiloscópica | 243 |
| 7.4.5. Dictamen | 244 |
| 7.5. Tipos de huellas dactilares | 244 |
| 7.5.1. Composición y características de las huellas latentes | 245 |
| 7.6. Búsqueda de huellas dactilares latentes | 246 |
| 7.6.1. Identificación de huellas dactilares en cadáveres | 247 |
| 7.7. Técnicas de revelado de huellas dactilares latentes | 248 |
| 7.7.1. Reactivos físicos | 250 |
| 7.7.2. Reactivos químicos | 252 |
| 7.7.3. Técnicas que no emplean reactivos | 259 |
| 7.8. Otras huellas como elementos de identificación | 260 |
| 7.9. Importancia de esta técnica | 260 |
| EJERCICIOS Y SOLUCIONES | 261 |
| LECTURA: «Huellas dactilares; sus comienzos en los tribunales de justicia» | 263 |

TEMA 8. PRUEBAS QUÍMICAS Y ANÁLISIS DE ADN EN EVIDENCIAS BIOLÓGICAS

Soledad Esteban Santos

| | |
|---|-----|
| 8.1. Introducción | 267 |
| 8.2. Forma de localizar, recoger y transportar las evidencias biológicas | 268 |
| 8.2.1. Localización | 268 |
| 8.2.2. Recogida y transporte | 270 |
| ■ PRUEBAS QUÍMICAS | 271 |
| 8.3. La sangre en criminología: serología forense | 271 |
| 8.4. Composición de la sangre | 272 |
| 8.4.1. Células de la sangre | 273 |
| 8.4.2. Antígenos y anticuerpos | 273 |
| 8.4.3. Grupos sanguíneos | 274 |
| 8.5. Análisis forense de la sangre | 276 |
| 8.5.1. ¿Es la evidencia realmente sangre? | 276 |
| 8.5.2. ¿Es sangre humana o sangre animal? | 279 |
| 8.5.3. ¿A quién pertenece la sangre? | 281 |
| 8.6. El semen en criminología | 283 |
| 8.6.1. Composición del semen | 283 |
| 8.6.2. Análisis forense del semen | 284 |
| 8.7. Otros fluidos corporales | 288 |
| 8.7.1. Pruebas químicas para la saliva | 288 |
| ■ ANÁLISIS DE ADN | 289 |
| 8.8. El ADN y las ciencias forenses | 289 |
| 8.9. El ADN desde el punto de vista bioquímico | 290 |
| 8.9.1. Estructura del polinucleótico | 291 |
| 8.9.2. Estructura del ADN: la doble hélice | 292 |
| 8.10. El ADN desde el punto de vista biológico | 294 |
| 8.10.1. Síntesis de proteínas | 295 |
| 8.11. Perfil de ADN: técnicas de análisis de ADN | 297 |
| 8.11.1. Procedimiento experimental | 298 |
| 8.11.2. Estudio estadístico | 300 |
| 8.12. El ADN mitocondrial en la investigación forense | 302 |
| 8.12.1. Aplicaciones del análisis del ADN mitocondrial | 303 |

| | |
|--|-----|
| 8.13. Otras aplicaciones del análisis de ADN | 304 |
| EJERCICIOS Y SOLUCIONES | 305 |
| LECTURA: «El zar Nicolás II y el ADN mitocondrial» | 307 |

TEMA 9. DROGAS DE ABUSO

M.^a del Pilar Cornago Ramírez

| | |
|---|-----|
| 9.1. Introducción | 311 |
| 9.2. Qué se entiende por drogas de abuso | 312 |
| 9.3. Tipos de drogas de abuso | 313 |
| 9.3.1. Clasificación | 313 |
| 9.3.2. Descripción de algunas drogas de abuso | 326 |
| 9.4. Identificación de drogas de abuso | 324 |
| 9.5. Análisis de evidencias físicas | 325 |
| 9.5.1. Pruebas de barrido o «screening» | 326 |
| 9.5.2. Pruebas de discriminación o confirmación | 335 |
| EJERCICIOS Y SOLUCIONES | 337 |
| LECTURA: «Breve historia de la cocaína» | 340 |
| ANEXO | 341 |

TEMA 10. VENENOS EN LA TOXICOLOGÍA FORENSE

Soledad Esteban Santos

| | |
|--|-----|
| 10.1. Introducción | 349 |
| ■ VENENOS: ASPECTOS GENERALES | 350 |
| 10.2. Dosis tóxica y dosis letal | 350 |
| 10.3. Toxicología forense | 353 |
| 10.3.1. Procesos analíticos en toxicología forense | 354 |
| 10.4. Características de los venenos | 356 |
| 10.5. Tipos de venenos | 357 |
| 10.6. Los venenos y la química | 358 |
| 10.7. Desintoxicación: antídotos y antagonistas | 359 |
| 10.7.1. Antídotos | 360 |
| 10.7.2. Antagonistas | 362 |
| 10.7.3. Antídoto universal | 364 |

| | |
|--|-----|
| ■ VENENOS ASPECTOS ESPECÍFICOS | 365 |
| 10.8. Venenos de origen mineral | 365 |
| 10.8.1. Arsénico | 366 |
| 10.8.2. Talio | 370 |
| 10.8.3. Monóxido de carbono | 372 |
| 10.9. Venenos de origen vegetal | 374 |
| 10.9.1. Cianuro de hidrógeno: plantas cianogénicas | 375 |
| 10.9.2. Otras plantas venenosas | 377 |
| 10.10. Venenos de origen animal | 379 |
| 10.11. Venenos de origen artificial | 380 |
| 10.12. Polonio, un veneno de última generación | 382 |
| 10.13. Venenos: nuevas perspectivas | 383 |
| EJERCICIOS Y SOLUCIONES | 385 |
| LECTURAS: «El caso Lafarge y la difusión del test de Marsh» y «Alan Turing y la manzana envenenada con cianuro» | 387 |
| Bibliografía | 391 |
| Abreviaturas y siglas | 393 |
| Índice alfabético..... | 399 |

FUNDAMENTO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS EN QUÍMICA FORENSE

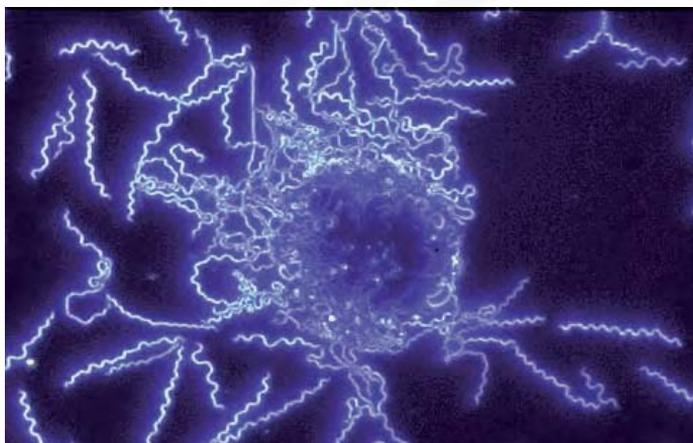


Imagen de restos biológicos obtenida con
un microscopio de campo oscuro

Soledad Esteban Santos

OBJETIVOS

General

Explicar todas las etapas a seguir en el estudio de muestras forenses, desde su localización y recogida en la escena del crimen hasta la finalización de sus análisis en el laboratorio.

Específicos

1. Valorar la necesidad de mantener la cadena de custodia durante todo el proceso de recogida, envío y análisis de muestras.
2. Reconocer la necesidad de evitar la contaminación y el deterioro de las muestras forenses a lo largo de todas las etapas de su estudio.
3. Explicar el fundamento de las técnicas instrumentales más empleadas en ciencia forense.
4. Determinar las aplicaciones más significativas en el laboratorio forense de las distintas técnicas instrumentales.
5. Describir los tipos más importantes de separación cromatográfica.
6. Dentro de cada grupo de técnicas instrumentales analíticas, diferenciar los distintos sistemas y la información aportada por cada uno de ellos.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Para el estudio de este tema, es importante conocer el fundamento teórico y las características de las principales técnicas instrumentales de análisis.

Tema 2. Fundamento de los métodos de análisis en Química Forense

- 2.1. Introducción
 - 2.2. Obtención y envío de evidencias desde la escena del crimen
 - 2.3. Recepción de evidencias en el laboratorio
 - 2.4. Estudio preliminar
 - 2.5. Procesos de separación: técnicas químicas y técnicas cromatográficas
 - 2.6. Análisis forense: técnicas instrumentales
 - 2.7. Microscopía
 - 2.8. Espectroscopia. Espectrometría de masas
 - 2.9. Otras técnicas instrumentales
- Ejercicios y Soluciones
Lectura: «Rayos láser»

2.1. INTRODUCCIÓN

La investigación forense debe comenzar en el lugar donde ocurrió el delito o aquellos hechos de los que se sospecha que lo son. Es decir, en el lugar de los hechos o escena del crimen. Por esta razón, es de suma importancia la observación visual de dicha escena y hacer fotografías de la misma, a fin de tener en cuenta la posición de los distintos objetos, del cadáver o cadáveres (en caso de existir) y de todos los restos que pueden ser portadores de indicios. Estos últimos, serán enviados al laboratorio y, una vez analizados allí, podrán servir como prueba ante los Tribunales de Justicia.

No obstante, ya en la misma escena del crimen comienza el proceso de estudio de las evidencias.

■ LAS EVIDENCIAS EN LA ESCENA DEL CRIMEN ■

2.2. OBTENCIÓN Y ENVÍO DE EVIDENCIAS DESDE LA ESCENA DEL CRIMEN

Tras una primera observación de la escena del crimen el investigador forense habrá de seguir todo un protocolo de actuación, pasando por unas etapas sucesivas, que pueden resumirse así:

- Localizar todas las evidencias posibles
- Una vez localizadas, recogerlas
- Embalarlas debidamente
- Cumplimentar un expediente y enviar todo al laboratorio

2.2.1. Localización de evidencias

La localización de evidencias en la escena del suceso delictivo es una pieza clave en la investigación criminal. La búsqueda debe ser exhaustiva, de tal manera que no se desprecie ningún objeto o señal que pudieran aportar pruebas de cualquier tipo. Aunque después alguno de esos objetos no aportara indicio alguno, de entrada no se deberán desechar. Además la búsqueda no deberá dañar ni contaminar ninguno de esos posibles indicios ni interferir en los análisis o ensayos posteriores a los que habrán de someterse.

Generalmente, la búsqueda y recogida de muestras en la escena del crimen es llevada a cabo por miembros especializados de la policía, aunque en algún caso pueden intervenir personal del laboratorio forense. ¿Con qué medios se llevará a cabo la búsqueda?

- Se comenzará por el más sencillo de todos, por un *examen visual*. Se emplearán herramientas que nos permitan ver mejor: tales son mirar con el auxilio de una lupa y, sobre todo, de la luz que nos proporcionan linternas especiales. Es lo que se conoce como *luces forenses*, que emiten luz a distintas longitudes de onda, *visible, infrarrojo y ultravioleta* y, últimamente, también de *rayos láser*. Además de ser un método sencillo, no contamina los restos ni los destruye, sirviendo para encontrar tanto restos biológicos como no biológicos. En muchos casos se apro-



vecha el hecho de que los componentes de algunos indicios tienen *propiedades luminiscentes*, con lo que absorben unas determinadas radiaciones y reemiten otras de menor energía (generalmente absorben en el rango ultravioleta y emiten en el visible). Tal es el caso de muchas pinturas y tintas y de determinados fluidos biológicos, como el semen.

En este sentido, recordemos que:

La **luminiscencia** consiste en una emisión de radiación lumínica, provocada en condiciones de temperatura normal o baja cuando una cierta forma de energía alcanza un átomo. Esta energía (que puede ser de distinto origen) provoca que determinados electrones sean excitados y que recuperen su estado inicial desprendiendo su excedente energético, con lo que emiten fotones, generalmente de longitud de onda dentro del espectro de la luz visible. Hay muchas clases de luminiscencia, según cuál sea el tipo de excitación: fotoluminiscencia, quimioluminiscencia, triboluminiscencia, termoluminiscencia, electroluminiscencia... (radiaciones electromagnéticas, energía de reacciones químicas, energía mecánica, calentamiento por debajo del rojo, corriente eléctrica...).

La **fluorescencia** es la luminiscencia debida concretamente a la acción de rayos ultravioleta. No obstante, a veces este término es más general, empleándose para denominar el fenómeno por el cual una sustancia absorbe una radiación (generalmente rayos UV, X, gamma o láser) y reemite otra radiación de energía menor que la de la fuente original.

La **fosforescencia** es una luminiscencia que perdura una vez que la excitación ha terminado.

No obstante, en el examen visual no basta con ver, sino que hay que «saber ver». Esto obviamente lo da la experiencia, pero se deben seguir siempre unas normas que ayudarán a todo investigador en sus actuaciones en la escena del crimen. Tales son las formas de examinar ésta, según se señaló en el tema 1 (sección 1.5.2).

- Después, localizados aquellos restos que pueden ser portadores de indicios, en algunos casos cabe realizar *pruebas químicas*, consistentes en reacciones sencillas que se llevan a cabo en la misma escena del crimen, para lo cual existen kits que se transportan fácilmente en maletines. Sobre todo son interesantes para restos biológicos. No obstante, son sólo de carácter orientativo.



FIGURA 2.1. Hisopos: el hisopo es un instrumento utilizado para recoger muestras y tiene forma de bastoncillo acabado en una punta de algodón.

2.2.2. Recogida de evidencias

Es muy importante saber seleccionar desde la escena del crimen aquellos objetos que puedan resultar útiles para la investigación como posibles portadores de indicios, y no recoger los que no añaden una información muy interesante. De esta manera, se tendrá en cuenta todo aquello que pueda resultar de valor para hacer la futura investigación en el laboratorio, y por otra parte, no se recargará innecesariamente el trabajo del equipo forense del laboratorio con objetos de muy escaso o ningún valor. A veces, incluso, se decide proteger el recinto cerrándolo durante algunos días, por si fuera necesario recoger más objetos en una segunda búsqueda.

Para evitar la contaminación de los posibles indicios se llevarán guantes de goma. Los medios para recogerlos son muy variados, dependiendo de su naturaleza y estado físico. Así, los objetos de mayor volumen (vasos, ropa, etc.) se recogen directamente a mano. Para fragmentos no muy grandes (como trozos de vidrio), se suelen emplear pinzas, o si son ya muy pequeños se pueden recoger sobre cinta adhesiva. Otras veces, para vestigios sumamente pequeños (como pelo, fibras...) se emplean cepillos, peines, hisopos o, incluso, pequeñas aspiradoras, tomándose en este caso lo que se haya depositado en su filtro. Los líquidos se pueden recoger con una pipeta. En otros casos, como por ejemplo, manchas sobre ropa, suele rasparse con un bisturí sobre la mancha, recogiendo lo que se haya desprendido, o se frota ligeramente con un hisopo (figura 2.1) humedecido (caso de las manchas de sangre o semen), o también se corta la parte de superficie que la contenga (como es el orificio de entrada de un disparo). Pero en estos últimos casos, frecuentemente lo mejor es transportar el indicio con el objeto completo que lo contiene. Lo mismo puede decirse para los objetos posibles portadores de huellas latentes. En cuanto a las huellas de mayor tamaño, como pisadas o neumáticos, se toman moldes de las mismas, así como fotografías.

2.2.3. Embalaje de evidencias

Una vez recogidas las distintas muestras, antes de enviarlas al laboratorio se procederá a embalar cada una por separado, a fin de evitar que se contaminen entre sí. El tipo de embalaje dependerá de la clase de muestra, de tal manera que siempre se recoja una cantidad suficiente de ésta y que se evite tanto su contaminación como el que sufra desperfectos físicos (por ejemplo, que se rompa o deteriore). Los envases son muy variados: bolsas de papel o de plástico de distintos tamaños, sobres de papel, recipientes cerrados de vidrio, cajas de cartón, etc. La elección del envase dependerá de la naturaleza y tamaño del indicio y, en su caso, del material que lo soporta.

2.2.4. Expediente de envío

Cada embalaje se sellará y etiquetará. Asimismo, se generará un documento en el que se anotará cada uno de los embalajes etiquetados, expediente que acompañará al envío conjunto de todas esas muestras en su camino al laboratorio.

En los últimos tiempos, se suele contar con *unidades de laboratorios forenses móviles*, que consisten en un vehículo equipado en su interior con todo lo necesario para observar, proteger y fotografiar la escena, y para recoger y empaquetar los indicios, así como con kits de pruebas químicas (figura 2.2).



FIGURA 2.2. Vehículo de laboratorio forense móvil y su interior.

Los distintos indicios requerirán unos procedimientos particulares de detección, recogida y envasado, según la naturaleza de cada uno, que se irán especificando a lo largo de los temas.

■ LAS EVIDENCIAS EN EL LABORATORIO ■

2.3. RECEPCIÓN DE EVIDENCIAS

Al laboratorio forense llegarán las posibles evidencias procedentes de la escena del crimen, y una vez allí, habrán de seguirse de nuevo una serie de pasos sucesivos. Así, antes de proceder a su análisis se requiere llevar a cabo unas operaciones previas de recepción y un estudio preliminar de las muestras.

En primer lugar, se procederá a abrir el envío general y se anotará en un documento cada uno de los embalajes que contiene, añadiendo a los datos de la etiqueta correspondiente un número de referencia y una descripción del embalaje y estado del mismo. Con todo ello, cada tipo de muestra quedará perfectamente registrado. Con todos estos cuidados de carácter burocrático, tanto al embalar las muestras como en su llegada al laboratorio, se conseguirá *no romper la cadena de custodia* (ver en tema 1, sección 1.9.1), requisito imprescindible para que las evidencias aportadas por las muestras, en su caso, puedan ser válidas y tenidas en cuenta como prueba ante un tribunal. Asimismo, durante los sucesivos estudios y análisis se irán anotando los ensayos y pruebas que se lleven a cabo con las muestras, quién se va haciendo cargo de las mismas y los resultados alcanzados, todo lo cual quedará reflejado en un *informe final*. Es fácil comprender, pues, la importancia de seguir debidamente estos requisitos burocráticos.

2.4. ESTUDIO PRELIMINAR

Una vez recibidos y registrados los embalajes, se procederá a su apertura a fin de que posteriormente se analicen las distintas muestras. Pero antes de los análisis hay una serie de pasos intermedios que es necesario llevar a cabo.



En primer lugar, hay que hacer un *estudio preliminar* de los restos recibidos. Se comenzará por el más sencillo: observar de nuevo atentamente cada uno de los restos contenidos en los distintos embalajes, para ir “afinando” en su clasificación y diferenciar así el tipo de análisis a los que se someterá después cada uno. Para esta observación se emplearán de nuevo las luces forenses y, sobre todo, el microscopio. Como éste último tiene aplicación no sólo en el estudio preliminar de los restos que llegan al laboratorio forense, sino posteriormente en la caracterización de los indicios, esta técnica será explicada más adelante.

Con el estudio previo se conseguirá distinguir entre restos parecidos pero no iguales (como fibras y pelo, fragmentos de vidrio y plásticos, restos diferentes de pinturas, tipos de manchas sobre telas, etc.). También, a semejanza de lo que se dijo para la escena del crimen, pueden someterse a algunas pruebas químicas mediante sencillas reacciones que, a modo sólo orientativo, pueden indicar la presencia de determinados vestigios (bastante útil sobre todo para fluidos biológicos y drogas).

En estos momentos ya más o menos se tiene una idea de lo que se va a analizar, pero es necesario preparar antes las muestras para ese análisis. Y esta tarea no es tan sencilla, ya que a pesar de disponer en los laboratorios forenses de herramientas sofisticadas, como son los aparatos de análisis instrumental, hay que recurrir a medios más tradicionales del trabajo cotidiano del químico. Por otra parte, es muy importante tener en cuenta la necesidad de llevar a cabo el estudio de determinados indicios en un medio estéril, a fin de disminuir el riesgo de contaminación de las muestras.

2.5. PROCESOS DE SEPARACIÓN

Hay que considerar que las muestras que llegan al laboratorio son muy variadas: orgánicas o inorgánicas, de origen biológico y no biológico, huellas de distinto tipo, etc. No obstante, las que constituyen objeto de estudio de la química forense son generalmente de tipo orgánico (drogas, muchos venenos y polímeros) y, aunque menos comunes, son también importantes las inorgánicas (tales como metales en ciertos venenos y en restos de disparos y explosiones, vidrio, papel, etc.). Pero en cualquier caso, cuando los indicios a examinar llegan al laboratorio es muy raro que estén puros, y lo más común es que vengán mezclados con otros residuos o incluidos en otro

material o soporte. Pensemos en restos de una bebida o de semen sobre un tejido, manchas de sangre sobre un papel, restos de gases de explosivos o de un incendio sobre materiales porosos.... Así, lo primero que tendrá que hacerse en el laboratorio es preparar la muestra a estudiar: en estos casos, separarla de la mezcla o del soporte correspondiente. Las posibilidades son tantas y la heterogeneidad de los residuos es tal, que no hay una norma general, sino que habrá de aplicarse en cada caso el procedimiento de separación más adecuado.

2.5.1. Técnicas químicas clásicas

En primer lugar, hay que recurrir a técnicas clásicas del laboratorio químico, es decir, a procesos tan básicos como la disolución, la destilación, la extracción o la precipitación.

La **disolución** es necesaria en el caso de indicios soportados, a fin de aislarlos del soporte. Cuando se trata de fragmentos de distintos sólidos (tierra, cristales, pelo...) es convenientes tratarlos con un disolvente para que queden suspendidos y sea más fácil percibirlos. En el caso de líquidos miscibles entre sí, una técnica adecuada en un principio es la **destilación**, si bien en los laboratorios forenses está siendo sustituida por la extracción o la cromatografía. En la primera de ellas, es decir, en la **extracción**, la separación de un componente determinado de la muestra se hace mediante un disolvente que tiene afinidad por dicho componente. Esta técnica se utiliza mucho en **toxicología y análisis de ADN**. En cuanto a la segunda, la cromatografía, algo más adelante le dedicaremos un apartado especial.

La **precipitación**, se emplea sobre todo para separar y detectar distintos elementos metálicos, a nivel sólo cualitativo, en una muestra líquida. No hay más que recordar la «marcha analítica de cationes». Con determinados reactivos se irán separando selectivamente distintos cationes en forma de una fase sólida (el correspondiente precipitado). Es sumamente útil en el análisis de los restos metálicos producidos por disparos.

2.5.2. Técnicas cromatográficas

Las técnicas anteriores presentan dos inconvenientes: que sólo pueden utilizarse cuando se dispone de cantidades apreciables de producto



y que muchas veces no se logra una separación completa. Por ello han sido sustituidas por la cromatografía, con la que se consigue superar esos inconvenientes. La cromatografía, que en realidad incluye un conjunto muy amplio de técnicas, debe su nombre a los términos griegos *chroma*, color, y *graphos*, escribir. Fue el botánico ruso **Mikhail Tsweet** (1872-1919) quien empleó esos términos por vez primera para designar una nueva técnica de separación descubierta por él cuando trabajaba en su Tesis Doctoral. Intentaba separar los pigmentos contenidos en las hojas de unas plantas, sin que resultaran dañados. Tras numerosos ensayos lo consiguió haciendo pasar la disolución de la mezcla de esos pigmentos a través de una columna vertical de vidrio rellena de un material poroso (figura 2.3). Dicho material interaccionaba con los componentes de la mezcla, adsorbiéndolos, aunque con fuerza diferente, de tal manera que los pigmentos se separaban en distintas bandas coloreadas situadas a lo largo de la columna. De ahí el nombre de cromatografía que en 1906 dio Tsweet a su utilísimo descubrimiento.



Figura 2.3.
Cromatografía en columna: separación de pigmentos.

Poco tiempo después otros dos científicos rusos idearon otra forma de colocar el material adsorbente (alúmina en este caso): en lugar de disponerlo dentro de una columna, lo depositaron sobre la superficie de un vidrio plano, formando una fina lámina. Por ello a esta técnica se le dio el nombre de *cromatografía en capa fina*. A partir de entonces fueron surgiendo nuevos tipos de sistemas cromatográficos. Y aunque en realidad son muy variados, tienen en común la siguiente característica: que la separación de los componentes de la mezcla se fundamenta en la distribución de dichos componentes entre dos fases, una *fase fija* y una *fase móvil*. La fase fija, o fase estacionaria, está constituida por un material a través del cual fluye la fase móvil. La función de la fase móvil es arrastrar los componentes de la mezcla, que se separan unos de otros en virtud de su diferente afinidad por el material de la fase estacionaria. Los componentes están sujetos, pues, a la influencia de dos efectos contrapuestos.

- *Retención*: efecto producido sobre los componentes de la mezcla por la fase estacionaria, que puede ser un sólido o un líquido anclado a un soporte sólido.
- *Desplazamiento*: efecto producido sobre los componentes de la mezcla por una fase móvil, que puede ser un líquido o un gas.

• Clasificación general

Hay muchos tipos de cromatografía (que se representan abreviadamente por sus siglas en inglés) y distintas formas de clasificar esos tipos, atendiendo a diversos criterios. Revisaremos los más importantes desde el punto de su aplicación en investigación forense:

1. Según la *disposición de la fase estacionaria*:

- *Cromatografía en columna*: la fase estacionaria se coloca dentro de una columna (es el caso del descubrimiento de Tsweet).
- *Cromatografía plana*: la fase estacionaria se dispone sobre una placa plana o sobre un papel, dando lugar, respectivamente, a:
 - *Cromatografía en capa fina*: ya explicada anteriormente. Se conoce abreviadamente por las siglas **TLC** (del inglés **Thin Layer Chromatography**).
 - *Cromatografía en papel*: es similar a la anterior, con la diferencia de que la fase estacionaria consiste simplemente en una tira de papel filtro (muy poroso). No obstante, sólo tiene valor a nivel cualitativo y en ciencia forense está prácticamente en desuso.

2. Dependiendo de la *naturaleza de la fase estacionaria y de la fase móvil* se pueden distinguir distintos tipos de cromatografía:

- *Cromatografía sólido-líquido*: la fase estacionaria es un sólido y la móvil un líquido.
- *Cromatografía líquido-líquido*: la fase estacionaria es un líquido anclado a un soporte sólido y la móvil también un líquido.
- *Cromatografía sólido-gas*: la fase estacionaria es un sólido y la móvil un gas. En análisis forense se emplea **para mezclas de productos nitrogenados, fosforados o halogenados**.



- *Cromatografía líquido-gas*: la fase estacionaria es un líquido y la fase móvil es un gas. Se emplea mucho en los laboratorios forenses y se designa por las letras **GC** (**G**as **C**hromatography).
3. Según el **tipo de interacción** que se establece entre los componentes de la mezcla y la fase móvil y la estacionaria, se tiene como más importantes:
- *Cromatografía de adsorción*: la fase estacionaria es un sólido polar capaz de adsorber los componentes de la mezcla mediante interacciones de tipo polar. El adsorbente más utilizado es gel de sílice aunque también se emplea alúmina activada.
 - *Cromatografía de reparto*: la separación se basa en las diferencias de solubilidad de los componentes de la mezcla en las fases estacionaria y móvil, que son ambas líquidas (fase estacionaria líquida, anclada a un soporte sólido, por lo general es gel de sílice), por lo que se trata de una cromatografía líquido-líquido.
 - *Cromatografía de intercambio iónico*: la fase estacionaria es un sólido que soporta grupos funcionales ionizables cuya carga se puede intercambiar por los iones presentes en la fase móvil. Los intercambiadores iónicos son matrices sólidas que contienen centros activos con carga electrostática (positiva o negativa). De esta forma, la muestra queda retenida sobre el soporte sólido por afinidad electrostática. Es un proceso que permite la separación de iones y moléculas polares, basado en las propiedades de carga de las moléculas. En el laboratorio forense es muy útil para **grandes proteínas, pequeños nucleótidos y aminoácidos**.

2.5.3. Técnicas cromatográficas en el análisis forense

Como vemos las posibilidades de combinación son numerosísimas, con lo que el número de diferentes tipos de sistemas cromatográficos es muy elevado. No obstante, en los laboratorios forenses las *técnicas más útiles* para resolver problemas analíticos y con mayor número de aplicaciones son tres: la cromatografía de capa fina (TLC), la cromatografía de gases (CG) y la cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC).