

Lección 7

Problemas Médico Legales de las Explosiones y Grandes Catástrofes

Índice de Contenidos

- I. Introducción
- II. Naturaleza y Agentes de las Explosiones
- III. Etiología Médico-Legal y Escenarios Forenses
- IV. Fisiopatología de las Lesiones: El Síndrome de la Onda Explosiva (*Blast Injury*)
- V. Efectos según el Medio de Propagación (*Air, Inmersión y Solid Blast*)
- VI. Grandes Catástrofes: El Rol de la Medicina Forense
- VII. Referencias Bibliográficas

I. Introducción

El estudio médico-legal de las explosiones y las grandes catástrofes constituye uno de los desafíos más complejos y multidisciplinarios de la patología forense contemporánea. Una explosión se define como la liberación súbita y violenta de energía -ya sea química, física o nuclear- que genera una onda de presión de alta velocidad, capaz de producir una desproporción patognomónica entre las lesiones externas, a menudo sutiles, y una devastadora destrucción orgánica interna (Gisbert Calabuig, 2019).

En el momento actual, la importancia de esta disciplina ha trascendido el análisis individual del cadáver para convertirse en una pieza estratégica de la seguridad pública y la gestión de crisis. La medicina legal no solo debe determinar la causa y el mecanismo de la muerte, sino que es fundamental para la reconstrucción de la escena, permitiendo discernir si el origen del suceso fue accidental (negligencia industrial), criminal (terrorismo) o, de forma excepcional, suicida.

En el contexto de las grandes catástrofes, entendidas como sucesos que provocan un número de víctimas que excede la capacidad de respuesta ordinaria de los servicios de emergencia de una zona, la medicina legal asume un rol directivo en la identificación de víctimas múltiples (IVM).

La globalización, el incremento de los desplazamientos masivos y la persistencia de amenazas híbridas y tecnológicas han obligado a una actualización profunda de los protocolos de actuación. Según Moya Pueyo (2021), la intervención forense actual no se limita a la sala de autopsias, sino que comienza con el triaje médico-legal en el área del desastre y se extiende hasta el análisis de ADN y la odontología forense, garantizando el cumplimiento de los estándares internacionales de la Interpol.

La relevancia de este campo en el siglo XXI es indiscutible. El auge de los accidentes industriales vinculados a nuevas fuentes de energía y la sofisticación de los artefactos explosivos improvisados (IED) demandan peritos con una formación avanzada en física de explosiones y balística de efectos. Además, la gestión médico-legal en grandes catástrofes posee una dimensión humanitaria y jurídica crítica: la correcta identificación de las víctimas y la determinación de las circunstancias del fallecimiento son requisitos previos indispensables para el ejercicio de los derechos sucesorios, las reclamaciones de seguros y, fundamentalmente, para el derecho a la verdad y el duelo de los familiares. Por ello, la integración de nuevas tecnologías, como la virtopsia y la gestión digital de datos *ante-mortem* y *post-mortem*, sitúa a la medicina legal como una disciplina esencial en la resiliencia de las sociedades modernas ante eventos catastróficos (Pérez-Martínez, 2024).

II. Naturaleza y Agentes de las Explosiones

Las explosiones se originan mediante procesos de liberación energética que pueden clasificarse según su naturaleza física o química. Las causas físicas derivan principalmente de fenómenos de expansión mecánica, como el estallido de gases bajo presión o el fenómeno *BLEVE* (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*), donde un líquido en ebullición contenido en un recipiente cerrado genera una ruptura catastrófica del mismo. Ejemplos clásicos de esta categoría son las deflagraciones de calderas o máquinas de vapor, cuya letalidad suele vincularse a la proyección de fragmentos y al calor radiante (Gisbert Calabuig, 2019).

Sin embargo, en el ámbito forense, las explosiones químicas representan el agente de mayor relevancia debido a su potencial criminológico. Estas se dividen en dos grandes grupos:

- Mezclas inflamables: Sustancias gaseosas o vapores (alcohol, nafta, éter) que, al combinarse con el oxígeno en proporciones adecuadas, generan una combustión ultrarrápida.
- Explosivos propiamente dichos: Sustancias sólidas o líquidas que experimentan una descomposición química instantánea. Estos se categorizan en explosivos de baja potencia (deflagrantes, como la pólvora negra) y explosivos de alta potencia (detonantes), entre los que destacan la dinamita,

los derivados de la nitroglicerina, el picrato de potasio y el fulminato de mercurio.

Un fenómeno de creciente interés en la patología forense industrial es la explosión de materias pulverulentas orgánicas. Polvos inicialmente considerados inertes (carbón, harina, cereales o serrín) pueden actuar como agentes explosivos devastadores cuando se hallan en suspensión aérea (nubes de polvo) y entran en contacto con una fuente de ignición en espacios confinados. La violencia de estas explosiones suele ser extrema debido a la gran superficie de contacto entre el combustible y el comburente, provocando destrucciones masivas en silos y fábricas (Villanueva Cañadas, 2021).

III. Etiología Médico-Legal y Escenarios Forenses

La determinación de la etiología médico-legal en un escenario de explosión es una tarea compleja que exige la integración de hallazgos médicos con la investigación criminalística. El estudio del foco de la explosión y la posición relativa de las víctimas es el eje vertebrador de la reconstrucción judicial.

- Etiología Accidental: Es la causa estadística más común. Generalmente se vincula a deficiencias técnicas, negligencias en el mantenimiento de infraestructuras de gas o accidentes en el transporte y manipulación de sustancias peligrosas. En estos escenarios, el médico forense debe valorar si hubo omisión de medidas de seguridad laboral.
- Etiología Homicida: Posee una trascendencia social y política crítica, manifestándose principalmente en atentados terroristas o agresiones con artefactos explosivos improvisados (IED). La identificación de la "firma" del explosivo a través de los residuos en el cadáver y la trayectoria de la onda permiten al perito establecer la distancia al epicentro y la intención criminal. El facultativo colabora aquí en la interpretación de los daños para determinar si las víctimas fueron blancos directos o daños colaterales.
- Etiología Suicida: Aunque es la menos frecuente, se documenta en individuos con acceso a material explosivo (minería, cantería) o conocimientos químicos para elaborar mezclas caseras. Un signo de sospecha médico-legal es el hallazgo del foco de explosión en contacto directo con el cuerpo, generalmente en cavidades (boca) o sobre el tórax, provocando una destrucción corporal localizada masiva y característica (Moya Pueyo, 2021).

La importancia de la escena radica en que, a diferencia de otros traumatismos, la explosión suele dejar una gran cantidad de indicios materiales (metralla, restos de detonadores) incrustados en los tejidos de la víctima, convirtiendo el cuerpo del fallecido en un receptáculo de pruebas esenciales para la resolución del caso (Gallardo et al., 2022).

IV. Fisiopatología de las Lesiones: El Síndrome de la Onda Explosiva (Blast Injury)

El concepto de *blast injury* define el complejo sindrómico resultante de la exposición del organismo a la onda expansiva generada por una detonación. Fisiopatológicamente, el daño se caracteriza por una transferencia masiva de energía cinética que produce una marcada desproporción entre el examen externo y la integridad interna. Mientras que la superficie cutánea puede presentar lesiones aparentemente leves, como quemaduras de primer grado o erosiones puntiformes, el contenido visceral suele sufrir una destrucción estructural profunda. Esta desproporción es el rasgo patognomónico del síndrome y exige una alta sospecha clínica inicial (Gisbert Calabuig, 2019).

Para un análisis médico-legal exhaustivo, la fisiopatología de la explosión se clasifica actualmente en cuatro mecanismos lesivos diferenciados:

1. Lesiones Primarias (Blast Primario)

Son el resultado directo del paso de la onda de choque a través del cuerpo. Esta onda de sobrepresión afecta predominantemente a la interfase entre tejidos de diferente densidad, especialmente en órganos que contienen gas.

El fenómeno de "spalling" o desconchamiento y los efectos de implosión provocan la rotura de alvéolos pulmonares, vísceras huecas (estómago e intestinos) y el sistema timpánico.

La tríada clínica clásica incluye la ruptura timpánica, el pulmón de *blast* (contusiones y laceraciones pulmonares con riesgo de embolia gaseosa) y la perforación intestinal, que puede manifestarse de forma tardía (Gallardo et al., 2022).

2. Lesiones Secundarias (Blast Secundario)

Se producen por el impacto de fragmentos y metralla proyectados por la explosión. A diferencia de las primarias, estas lesiones son de naturaleza penetrante o contusa y representan la causa más frecuente de bajas en atentados terroristas.

La energía cinética de los proyectiles secundarios (piezas metálicas, cristales o restos del artefacto) genera heridas anfractuosas, desgarros vasculares y amputaciones traumáticas.

3. Lesiones Terciarias (Blast Terciario)

Derivan del desplazamiento físico de la víctima, quien es lanzada contra estructuras sólidas (suelo, paredes) o sufre el colapso de edificios. Clínicamente, se traducen en traumatismos craneoencefálicos severos, fracturas óseas múltiples y aplastamientos. Un signo médico-legal característico es el arrancamiento de ropas y calzado debido a la fuerza del viento de la explosión (*blast wind*).

4. Lesiones Cuaternarias y Quinarias

Las lesiones cuaternarias abarcan todos los daños no incluidos en los mecanismos anteriores, como quemaduras térmicas, inhalación de humos tóxicos, radiación o exacerbación de patologías previas. Por último, el denominado "blast quinario" se refiere a los efectos clínicos causados por aditivos químicos, biológicos o radiológicos añadidos intencionadamente al artefacto explosivo (Moya Pueyo, 2021).

Desde una perspectiva clínica, las víctimas presentan un estado de shock neurogénico e hipovolémico inicial, complicado por el síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) y un elevado riesgo de infecciones nosocomiales y gangrena gaseosa. La embolia gaseosa sistémica, originada por la comunicación alveolo-capilar traumática, es una de las complicaciones más letales, ya que puede provocar infartos agudos de miocardio o accidentes cerebrovasculares inmediatos tras la detonación (Villanueva Cañadas, 2021).

V. Efectos según el Medio de Propagación (*Air, Inmersión y Solid Blast*)

La naturaleza física del medio (aire, agua o sólido) en el que se desplaza la onda de choque altera drásticamente la cinética de la energía y, por ende, el patrón de lesiones observado en el cadáver o en el sobreviviente. Para el médico forense, identificar estos patrones es crucial para reconstruir la posición de la víctima y la dinámica del evento catastrófico (Serrano & Molina, 2023).

1. Air Blast (*Onda aérea*)

Es la forma más común de propagación en atentados urbanos y explosiones de gas. El aire es un medio compresible, lo que provoca que la onda pierda energía rápidamente con la distancia. No obstante, al incidir sobre el cuerpo, genera un gradiente de presión extremo en milisegundos.

- Patrón lesivo: Las lesiones suelen ser unilaterales, localizadas en el flanco que enfrentaba el centro de la explosión.
- Relevancia Médico-Legal: La ruptura timpánica es el marcador biológico de exposición a sobrepresión más sensible; su ausencia suele descartar lesiones por *blast* primario severo. Las laceraciones pulmonares múltiples y el enfisema traumático son hallazgos de autopsia críticos. La presencia de "tatuaje de

pólvora" o partículas de metralla incrustadas solo en un lado del cuerpo permite al perito establecer la orientación exacta de la víctima respecto al foco (Gisbert Calabuig, 2019).

2. *Inmersión Blast (Onda en medios líquidos)*

Ocurre en explosiones subacuáticas (minas marinas, actividades pesqueras ilegales o accidentes en plataformas). Debido a que el agua es prácticamente incompresible y tiene una densidad similar a los tejidos blandos, la onda se transmite con una eficacia hasta 3 y 4 veces mayor que en el aire y a distancias mucho más largas.

- Patrón lesivo: A diferencia del aire, las lesiones son difusas y profundas. Al no haber resistencia por diferencia de densidad en los tejidos sólidos, la energía se "descarga" violentamente al encontrar cavidades con gas.
- Relevancia Médico-Legal: Predominan las rupturas de vísceras huecas (estómago, colon, intestino delgado) y hemorragias submucosas masivas. Es característico encontrar un tórax y abdomen externamente íntegros, pero con una destrucción visceral completa. Este fenómeno explica por qué víctimas de explosiones marinas pueden fallecer por peritonitis aguda o shock hipovolémico horas después de un suceso en el que aparentemente no sufrieron impactos directos (Moya Pueyo, 2021).

3. *Solid Blast (Onda por estructuras sólidas)*

Este mecanismo ha cobrado una importancia capital en la medicina militar y forense moderna debido al uso de minas terrestres y artefactos explosivos improvisados (IED) bajo vehículos o estructuras. La energía se transmite a través de la base del vehículo o el suelo de un edificio, convirtiendo la estructura en un proyectil masivo.

- Patrón lesivo: Se conoce como trauma de alta energía por carga axial. El impacto es devastador en los puntos de contacto directo, generalmente los pies y las extremidades inferiores.
- Relevancia Médico-Legal: Se observa una onda de choque ósea que viaja a través del esqueleto. Esto produce fracturas conminutas de calcáneo, astrágalo y tibia (fracturas de "pilon tibial"), a menudo acompañadas de desgarros vasculares severos y síndromes compartimentales. En el análisis forense, es común hallar fracturas de columna vertebral (por compresión axial) y lesiones por cizallamiento en órganos internos, incluso si el individuo no fue desplazado de su posición, debido a la aceleración vertical súbita transmitida por el sólido (Villanueva Cañadas, 2021).

4. *Blast en Espacios Confinados*

Un aspecto crítico para la actualización de este tema es el efecto de reflexión de la onda. Cuando una explosión ocurre dentro de una habitación, un autobús o un túnel, la onda de choque rebota en las paredes, sumándose a sí misma.

- **Importancia Forense:** Esto multiplica la presión efectiva y prolonga la duración de la fase positiva del *blast*. Las víctimas en espacios cerrados presentan una mortalidad significativamente mayor y lesiones pulmonares y cerebrales mucho más severas que aquellas expuestas a la misma cantidad de explosivo en campo abierto (Gallardo et al., 2022).

VI. Gestión Médico-Legal en Grandes Catástrofes y Víctimas Múltiples (IVM)

En las grandes catástrofes, la actuación médico-legal trasciende el análisis individual para convertirse en un proceso sistémico de alta complejidad. El objetivo principal es la identificación plena de los fallecidos, la determinación de la causa de la muerte y la aportación de pruebas para la exigencia de responsabilidades legales. En España, este operativo está blindado por el Real Decreto 32/2009, que establece la obligatoriedad de una estructura jerarquizada y coordinada entre los IMLCFV y las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (Pérez-Martínez, 2024).

6.1. Organización Operativa y el Modelo del IMLCFV

La gestión en catástrofes como la DANA en Valencia exige la activación inmediata de un Comité de Crisis. El IMLCFV centraliza las operaciones, estableciendo una división del trabajo en tres pilares:

- **Puesto de Mando Médico-Forense:** Responsable de la coordinación con jueces, fiscales y servicios de emergencia (Protección Civil, UME).
- **Equipos de Retén y Campo:** Equipos desplegados en la zona de impacto para el levantamiento técnico.
- **Equipos de Morgue e Identificación:** Personal especializado en autopsias y cotejo de datos.

6.2. La Zona de Impacto: Levantamiento y Cadena de Custodia

El levantamiento en catástrofes hidrológicas o incendios (como el de Campanar) presenta retos específicos de preservación. El proceso sigue una metodología estricta:

- **Cuadrícula y Zonificación:** La zona se divide para asegurar que no quede ningún resto sin registrar.
- **Etiquetado y Signado:** Cada cuerpo o resto humano recibe un número de cadáver único que lo acompañará en toda la documentación (formularios PM).

- Cadena de Custodia: Se documenta cada movimiento desde el hallazgo hasta la entrega del cuerpo. Los efectos personales (anillos, documentos, ropa) no se separan del cadáver en el lugar del hallazgo, ya que su posición relativa es vital para la identificación (Gisbert Calabuig, 2019).

6.3. La Fase Post-Mortem (PM): El Examen del Cadáver

Una vez los cuerpos llegan al IMLCFV, se inicia el protocolo PM, que incluye:

- Radiología Forense y Virtopsia: Se realiza un escaneo previo mediante Tomografía Computarizada (TC). Esto permite detectar objetos ocultos, prótesis quirúrgicas con números de serie o proyectiles sin necesidad de disección inicial.
- Autopsia Médico-Legal: Se procede a la apertura de cavidades para determinar la causa de muerte (por ejemplo, asfixia por sumersión en la DANA o inhalación de humos en Campanar).
- Obtención de datos primarios de identificación: Toma de impresiones dactilares (si el estado de la piel lo permite), examen odontológico forense exhaustivo y extracción de muestras biológicas (hueso largo, fémur o molares) para la obtención del perfil genético (ADN).

6.4. La Fase Ante-Mortem (AM): La Oficina de Atención a Familiares

Simultáneamente a las autopsias, se establece la Oficina Ante-Mortem. En el ejemplo de la DANA, esta oficina se convierte en el punto crítico de contacto con las familias:

- Entrevista Técnica: Se recogen datos médicos previos (fracturas antiguas, operaciones, tatuajes), registros dentales de sus clínicas de confianza y descripciones de ropa o joyas.
- Recogida de Muestras de Referencia: Toma de frotis bucales (saliva) a familiares de primer grado (padres, hijos, hermanos) para realizar el cotejo de ADN. También se recogen objetos de uso personal del desaparecido (peines, cepillos de dientes) que puedan contener su perfil genético directo.

6.5. El Proceso de Identificación y Entrega

La identificación solo se considera positiva cuando existe una coincidencia indubitada en uno de los tres métodos primarios (Interpol, 2018):

1. Huellas Dactilares (Lofoscopia).
2. Odontología Forense (Cotejo de radiografías dentales).
3. Genética Forense (Cotejo de ADN).

Una vez confirmada la identidad, el equipo forense emite el certificado de defunción y el acta de identificación. La entrega de los restos se realiza bajo un estricto protocolo de apoyo psicológico, asegurando que la familia reciba toda la información necesaria para el cierre del proceso de duelo y la gestión de derechos sucesorios.

6.6. Documentación Imprescindible en el Operativo

El manejo de datos se estandariza mediante los formularios de Interpol (AM/PM). En la Tabla 2 se detalla la documentación crítica necesaria para el éxito del operativo médico-legal.

Tabla 2.

Documentación y Muestras Críticas en Protocolos de IVM

Fase	Documento / Muestra	Finalidad Médico-Legal
Escena	Acta de levantamiento y Croquis	Ubicación y contexto del hallazgo
Post-Mortem	Formulario PM de Interpol	Registro de datos físicos y necroidentificación
Post-Mortem	Muestras biológicas (Hueso/Diente)	Obtención de ADN del cadáver
Ante-Mortem	Formulario AM de Interpol	Registro de datos médicos y dentales previos
Ante-Mortem	Frotis bucal de familiares	Muestra de referencia para cotejo de ADN
Final	Dictamen de Identificación	Resolución oficial de la identidad del fallecido

Nota. Elaboración propia basada en el Real Decreto 32/2009.

La experiencia de Valencia ha consolidado al IMLCFV como un referente en la aplicación de estos protocolos, demostrando que la gestión de la información y la sensibilidad humana son tan importantes como el rigor científico en la resolución de grandes catástrofes (Villanueva Cañadas, 2021).

VII. Referencias Bibliográficas

Gallardo, J. J., Ruiz, M. A., & Torres, S. (2022). *Traumatología Forense: Lesiones por agentes físicos y químicos*. Editorial Reverte.

Gisbert Calabuig, J. A. (2019). *Medicina Legal y Toxicología* (7.^a ed.). Elsevier España.

Interpol. (2018). *Directrices para la Identificación de Víctimas de Catástrofes*. Lyon, Francia.

Moya Pueyo, V. (2021). *Manual de Medicina Legal y Forense* (2.^a ed.). Editorial Médica Panamericana.

Pérez-Martínez, C. (2024). *Gestión de Víctimas Múltiples y Catástrofes: Un enfoque desde la Medicina Forense Moderna*. Dykinson.

Real Decreto 32/2009, de 16 de enero, por el que se aprueba el Protocolo nacional de actuación médico-forense en sucesos con víctimas múltiples. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 32.

Serrano, A., & Molina, P. (2023). Patología de las explosiones: Análisis de casos contemporáneos. *Revista Española de Medicina Legal*, 49(1), 12-25.

Villanueva Cañadas, E. (2021). *Tratado de Medicina Legal y Toxicología*. Universidad de Granada.