



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

RADIOLOGÍA CRANEAL, TÉCNICAS Y APOYOS EN LA
IDENTIFICACIÓN DE BALÍSTICA FORENSE.

**TRABAJO TERMINAL ESCRITO DEL DIPLOMADO DE
ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

CIRUJANA DENTISTA

P R E S E N T A:

JAZMÍN ELIZABETH MORALES LÓPEZ

TUTOR: Mtro. SERGIO NANNI ARGÜELLES

Ciudad Universitaria, CDMX

2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A Dios:

Te doy las gracias Señor por estar conmigo en cada momento de mi vida. Aun cuando sentía que todo se derrumbaba y que no lo lograría, me diste las fuerzas para lograr mis metas y no desistir.

A mi madre:

Georgina López Villaseñor

Porque desde el momento que nací nunca dejaste de trabajar por mí, porque a pesar de estar lejos siempre viviste pendiente y nunca me dejaste sola.

Aunque algunas veces no entendía tus regaños me doy cuenta que fueron para hacerme una mujer llena de bendiciones, logros, valores y sobre todo agradecida con Dios. Te amo mucho.

A mis abuelos:

Abraham López

Laura Villaseñor

Por apoyarme, por la ayuda jamás negada, por estar pendientes de mi vida hasta el día de hoy y por nunca renunciar a su amor constante.

A mis hermanos:

Octavio López, Óscar López y Abigail López. Por su amor, paciencia, cariño y todos los momentos acompañados a lo largo de la carrera.

A mis primas:

Gabriela López, Daphne López y Zury López. Gracias por el desmedido cariño y por alentarme a ser mejor.

A mis amigos:

Liliana Hernández, Luis San Miguel, Francisco Morales, Lizbet Vázquez, Zeltzin Jiménez, Alejandra Vázquez, Lemuel Cruz, Diego Carrillo, Oscar Durán, Israe Osegueda y Alan Marroquín por la confianza, cariño y ayuda en este largo recorrido, los quiero mucho.

A mi tutor:

Sergio Nanni Argüelles

Con especial gratitud por su apoyo en la elaboración de este trabajo, además de sus constantes enseñanzas para ser una mejor profesional, compañera y amiga.

Por último, gracias a todas las personas cuyo nombre no se encuentra inscrito, pero que sin su apoyo y cariño nada de esto se hubiese logrado como son mi familia, maestros, compañeros, doctores, pacientes y sobre todo a mi máxima casa de estudios la Universidad Nacional Autónoma de México.

Gracias totales.

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.....	8
OBJETIVO.....	10
INICIOS DE LA RADIOLOGÍA FORENSE.....	11
Origen de los rayos x.....	11
LA COMPOSICIÓN DE LOS RAYOS X.....	12
Radiación electromagnética.....	12
Alteración de la materia por los rayos x.....	13
Escalas de medición de la radiación x.....	15
IMPORTANCIA DE LA RADIOLOGÍA FORENSE.....	16
La radiología forense como herramienta jurídica.....	16
Avances y técnicas de la radiología forense.....	18
LA VIRTOPSISIA EN LA MEDICINA FORENSE.....	19
Principales herramientas de la virtopsia.....	20
Tomografía Computarizada (TC).....	20

Fotogrametría digital y escaneo de superficie en 3D.....	21
La perspectiva actual de la virtopsia.....	23
Identificación de huesos craneales mediante radiografías.....	23
BALÍSTICA FORENSE.....	24
Armas de fuego.....	25
Evolución de las armas de fuego.....	27
Clasificación general de los tipos de armas de fuego.....	28
El calibre de las armas de fuego.....	30
Estudio de un arma de fuego en balística forense.....	31
BALÍSTICA INTERIOR.....	34
Metodología de los estudios periciales en balística interior.....	35
BALÍSTICA EXTERIOR.....	37
Términos empleados en el estudio de balística interior.....	37
BALÍSTICA DE EFECTOS.....	40
Ángulo de incidencia.....	40

El orificio de entrada (OE).....	42
Estudio de la zona que rodea al OE.....	42
El anillo de enjugamiento.....	42
El anillo de contusión.....	43
La zona de fish.....	43
Características especiales del OE.....	43
Orificio por disparo de contacto.....	43
Orificio por disparo a corta distancia.....	45
Orificio por disparo a distancia intermedia.....	48
Orificio por disparo a larga distancia.....	48
Términos usados para describir la distancia de disparo.....	49
Cavidades de las heridas de bala.....	50
Teorías de los efectos de penetración.....	52
Características adicionales del arribo de la bala.....	53
Clasificación de las trayectorias en balística de efectos.....	53

Orificio de salida (OS).....	55
ANÁLISIS DE CASOS DE HERIDAS BALA EN EL CRÁNEO.....	57
EJEMPLOS RADIOLÓGICOS DE HERIDAS CRANEALES.....	59
Herida de bala en la zona del hueso cigomático.....	63
Herida en la zona frontal del cráneo.....	65
CONCLUSIONES.....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

INTRODUCCIÓN.

El siguiente trabajo de diplomado acercará al lector no sólo a ciertos aspectos técnicos de las disciplinas forenses sino también buscará involucrarlo en dichas ciencias cuya importancia es inmedible en el ámbito criminológico. Evidentemente la radiología y la balística forense se encuentran relacionadas con el derecho penal, ya que a través de las investigaciones y análisis en casos judiciales como son homicidio y maltrato, tales estudios pueden aportar datos que logran incluso tomarse como pruebas decisivas en un juicio. De manera que el motivo primordial de exponer el siguiente estudio es la amplia relevancia que estas ramas de la medicina forenses y la criminalística aportan a la sociedad en favor de la justicia.

Para ilustrar y puntualizar el siguiente trabajo me apoyaré principalmente en dos disciplinas: la radiología forense y la balística forense, aunque de ésta última incursioné particularmente en la rama conocida como “balística de efectos” ya que es la de mayor relevancia para analizar los casos que se expondrán en este trabajo. Con ayuda de estas ciencias se analizarán dos ejemplos particulares en los cuales se han manifestado lesiones de bala en diversos grados. En cada caso se buscará detallar aspectos técnicos y se disertará sobre el origen de las lesiones, la velocidad de los proyectiles, la magnitud del daño que ocasionaron; así como los rasgos de los orificios y los puntos de salida de los proyectiles. Cada término técnico se explicará con claridad cuando se use para definir dichos ejemplos y se especificará según la disciplina de donde provengan ya sea balística o radiología.

Cabe determinar que en estos dos ramos de las ciencias forenses se ha avanzado considerablemente gracias a los aportes tecnológicos modernos. Actualmente la radiología forense, por ejemplo, ocupa no sólo los tradicionales rayos X, sino también imágenes computarizadas o la conocida *Tomografía Axial Computarizada* (TAC) que proveen de mayor detalle en lesiones y un análisis mucho más cabal y de gran utilidad para esclarecer las causas de muerte. En el siguiente trabajo, sin embargo, se verán dichas técnicas de manera esbozada, a causa de la naturaleza breve y concisa del mismo.

Los capítulos iniciales darán al lector un panorama provechoso y breve sobre el origen y datos pertinentes de la radiología y la balística forense; los alcances que han logrado y de cómo se han consolidado como herramientas coyunturales en los juicios de todo el mundo. Después el lector incursionará en el cuerpo del trabajo, es decir, la ejemplificación y el desarrollo de los casos donde se ocuparán éstas ciencias de manera práctica para lograr una óptima valoración en cada ejemplo y en el desarrollo de cada uno de los casos, a manera de los trabajos periciales, pero sin perder el enfoque académico y práctico que atañe a este estudio.

Creo firmemente en el resultado del siguiente trabajo, el cual aportará una valiosa perspectiva en aspectos forenses para quien desee iniciarse en el tema de la criminología y la ciencia forense. Sin temor a ser reiterativa, espero que el lector del siguiente trabajo de diplomado no sólo adquiera la experiencia y el conocimiento que tan arduamente busqué plasmar, sino que despierte en él la admiración hacia estas disciplinas cuyos esfuerzos son imprescindibles para lograr ejercer en el mundo actual la mejor de las justicias.

OBJETIVO.

El presente estudio adentrará al lector hacia cuestiones generales de la radiología y la balística forense. El objetivo central será proveer datos importantes de ambas ciencias desde sus orígenes hasta la metodología actual, todo para concluir con dos casos particulares de heridas de bala en la zona craneal. De manera que el lector pueda identificar en dichos eventos lo expuesto a lo largo de la narrativa del presente trabajo. Con esto buscaré acentuar la importancia de las ciencias criminológicas en la sociedad actual la cual está ávida de conquistar la verdad en escenarios delictivos. Por último el objetivo también es fomentar el espíritu de servicio a la sociedad el cual debe ser inherente en todo egresado que se sienta agradecido con nuestra máxima casa de estudios.

INICIOS DE LA RADIOLOGÍA FORENSE.

Origen de los rayos x.

La medicina moderna logra consolidarse en gran medida con el descubrimiento de los rayos X. Gracias a este aporte se fundaron diversas disciplinas cuya base es el análisis del cuerpo humano a través de ésta nueva herramienta descubierta por W. C. Roentgen el 28 de diciembre de 1895. Tras éste descubrimiento se revoluciona en la medicina la manera de hacer diagnósticos en los pacientes. El impacto fue tan grande en esa época que con ayuda de los rayos X se logra prevenir y tratar enfermedades como la tuberculosis.

El uso de los rayos X para operar objetos extraños dentro del organismo humano fue casi inmediato. En la primera guerra mundial se implementaron los famosos vehículos radiológicos franceses de Marie Curie, los cuales estaban equipados para intervenir a los heridos con ayuda de los rayos X, ya que permitían localizar las balas y los trozos de metralla. Desde ese momento clave, puesto que se salvaron millones de soldados, la radiología se impone como disciplina médica de suma relevancia. (Frommer, 2011).

¿Cómo logró Roentgen conquistar tan encomiable descubrimiento? Naturalmente tanto él como muchos otros científicos de su época estuvieron experimentando con tubos al vacío y diversas longitudes de rayos. Roentgen con uno de estos tubos produjo un rayo invisible que era capaz de penetrar substancias opacas a la luz ordinaria. A lo largo de uno de sus experimentos, durante el cual el tubo fue cubierto con un papel negro grueso, se dio cuenta de que este rayo penetraba el papel y causaba una pantalla fluorescente que resplandecía. Cuando entre el tubo y la pantalla se colocaban ciertos objetos sus sombras se proyectaban sobre ésta. (O'Brien, 1985).

Sucesivos experimentos demostraron que estos rayos ennegrecían la emulsión de la película fotográfica justo como lo hacía la luz. Roentgen encontró que dichos rayos penetraban muchas más sustancias y que la sombra o imagen de tales objetos podía ser registrada en una placa fotográfica. He aquí quizás lo mítico del descubrimiento, se dice que Roentgen pudo hallar la particularidad de las imágenes a causa de su afición a la fotografía, ya que mientras realizaba el experimento, unas fotos personales que él intentaba rebelar fueron veladas por el rayo. Incapaz de definir la naturaleza exacta de esta radiación la llamó "rayos X". (Frommer, 2011).

LA COMPOSICIÓN DE LOS RAYOS X.

Radiación electromagnética.

Los rayos X pertenecen al grupo de radiaciones electromagnéticas, es decir están conformados por energía eléctrica y magnética. Todos los rayos electromagnéticos, como son los infrarrojos, la luz ultra violeta, rayos gama, etcétera, poseen un movimiento ondulatorio cuando se mueven a través del espacio en una trayectoria recta. La velocidad de este movimiento es constante (186, 000 millas por segundo) sin embargo la diferencia entre cada tipo de onda estriba en su longitud, es decir, en la distancia existente entre la cresta de una a la cresta de la siguiente, lo que determina la diferencia y nombre de cada uno de los rayos existentes. (González S. A., 2011).

Es claro que cada radiación posee su propia longitud de onda característica, la cual establece su frecuencia (el número de oscilaciones u ondas emitidas por segundo), de manera que los rayos que tienen longitudes de onda más cortas son de una frecuencia mayor que aquellos con longitudes más largas. Las ondas cuya longitud es corta se miden en unidades Angström (1/ 100 000 000 de centímetro) y las más largas se miden en metros. Otra variación dependiendo de la longitud de onda es el color, fluctuando desde los rayos rojos (longitud de onda larga) hasta los rayos violeta (longitud corta). (O'Brien, 1985).

Los rayos X poseen longitudes de onda mucho más cortas, las cuales están mucho más allá del límite visual, es decir son invisibles; de hecho no son perceptibles a ninguno de los sentidos. En la época de su descubrimiento esto provocó que se ignoraran fácilmente los peligros de su uso, cuantificando muertes por cáncer en diversos pacientes y amputaciones en los primeros médicos radiólogos.

Así como los rayos X varían en la longitud de onda, también varía su habilidad para penetrar la materia. Aquéllos con longitud de onda más corta poseen una frecuencia más alta y más energía, por tanto penetran la materia con mayor facilidad. Sin embargo, a medida que se incrementa la densidad de la materia, también se debe incrementar la energía de los rayos X con objeto de penetrarla. (Martins, 2016).

Alteración de la materia por los rayos x.

Ahora que poseemos un panorama general de cómo están constituidos los rayos X, es importante saber cómo actúan al emitirse sobre la materia la cual finalmente se verá reflejada sobre la placa fotográfica mostrándonos la composición interna del objeto radiado; entendiendo que para este trabajo serán las partes de la cabeza y cráneo que fueron afectadas por los proyectiles.

Para comprender cómo la radiación X actúa en la materia es necesario vislumbrar de manera sencilla la composición del átomo, el cual como sabemos está constituido (para entenderlo burdamente) a manera de nuestro sistema solar, donde el núcleo es comparable con la posición del sol, y los electrones orbitando son como los planetas. Así como existen grandes distancias entre los planetas y entre éstos con relación al sol, de igual forma existen distancias similares en el átomo constituyéndolo mayoritariamente espacio vacío. (Martins, 2016).

Las partículas subatómicas se encuentran en constante movimiento: los protones y neutrones dentro del núcleo y los electrones revolviéndose rápidamente en sus órbitas alrededor del núcleo. Pese a esta actividad frenética se mantiene la estructura básica del átomo tanto unido como neutro, de manera que el número de electrones que orbitan es semejante al número de protones en el núcleo. Es aquí donde entra la radiación, la cual altera este equilibrio del átomo removiendo electrones de sus órbitas y trastornando su carga eléctrica, lo que se conoce como ionización del átomo. De tal forma que si uno o más electrones son removidos de sus órbitas, el átomo pierde su neutralidad y queda cargado positivamente. En este estado es inestable y se convierte en un ion positivo; por su parte los electrones removidos se consideran iones negativos. Este proceso es conocido como ionización. (O'Brien, 1985).

Es importante señalar que entre más cerca estén los electrones del núcleo, es decir, en las primeras órbitas, mayor será la fuerza o energía necesaria para removerlos. Otra forma de explicarlo es que cuanto mayor sea la distancia de los electrones y el núcleo, están más flojamente unidos a éste.

Debido a que los rayos X tienen energía para desalojar los electrones orbitales cuando chocan contra ellos un fotón (partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético) de rayo X es una radiación ionizante. En palabras simples, la radiación se produce cuando las ondas electromagnéticas descomponen los átomos de la materia a la que son dirigidas. (Martins, 2016).

Otras radiaciones de alta energía también tienen la capacidad de ionizar: éstos son los rayos cósmicos, los rayos gama y las radiaciones corpusculares (se componen de partículas subatómicas sólidas que tienen masa). Evidentemente los tejidos vivos y células son materia compuesta de átomos. En su estado natural estos átomos son eléctricamente neutros y los tejidos y las células funcionan normalmente (a menos que obren a impulso de una fuerza exterior como la de la radiación ionizante). (O'Brien, 1985).

Como hemos visto hasta esta parte del estudio, la generación de los rayos X es una conjunción de dos fenómenos. El primero es el resultado de la perturbación de la neutralidad inherente del átomo, y el segundo comprende la atracción electrostática entre dos cargas eléctricas opuestas, o dicho de otra manera la energía que se libera al reducirse esta alteración y el desprendimiento de electrones.

Si el átomo excitado regresa a su estado normal, el electrón removido de su órbita regresa a su posición original. Al hacer esto, el átomo libera energía electromagnética (un fotón de rayo X). Si el átomo es ionizado, el electrón faltante crea una vacante orbital, la cual es llenada por un electrón fuera de órbita. Este proceso de remplazo viene a ser una reacción en cadena hasta que el átomo restaura su equilibrio original. (Martins, 2016).

Como un electrón fuera de órbita se mueve hacia una órbita interior para llenar la vacante, también libera energía electromagnética (un fotón de rayos X). El electrón arrojado de su órbita viaja dentro de los átomos vecinos, causando más ionizaciones hasta que se gasta su energía. A la excitación del átomo se le considera un disturbio menor, mientras que la ionización tiene una interacción mayor. Los fotones del rayo X generados por la excitación e ionización de los átomos que se regresan a su estado eléctricamente neutral son por tanto conocidos como radiación característica.

En la segunda posibilidad de cómo se producen los rayos X participa un electrón de alta velocidad que penetra los límites de un átomo. En esta interacción el electrón penetra las partes exteriores de los electrones que están en órbita y pasa muy cerca del núcleo. Al soportar una fuerte carga positiva el núcleo tiende a atraer al electrón negativo. Sin embargo, debido a la alta velocidad impartida al electrón de paso, el núcleo sólo es capaz de causar una deceleración o acción de "rompimiento" sobre el electrón. Este, liberando parte de su energía cinética, produce radiación electromagnética (un fotón de rayo X). (O'Brien, 1985)

Escalas de medición de la radiación x.

Para medir la intensidad y frecuencia de los rayos X se utiliza el aire, ya que también puede ser ionizado. A través del aire ionizado se puede cuantificar la cantidad de radiación proveniente del tubo de rayos X. Se ha determinado que el número atómico del aire es casi idéntico al de los tejidos del cuerpo. Por eso la absorción de la energía de los rayos X en el aire es básicamente la misma para los tejidos y los fluidos del cuerpo. (González S. A., 2011).

El roentgen es la unidad que se usa con más frecuencia para medir la radiación. Se representa con el símbolo R y designa la cantidad de radiación X a la cual se va a exponer un cuerpo, generalmente un paciente. Se puede estimar la cantidad de daño celular cuando se conoce el número aproximado de unidades roentgen a las cuales se expuso el paciente. El rad (dosis de radiación absorbida) representa la cantidad de energía de rayos X que es absorbida por un cuerpo. (O'Brien, 1985).

Una tercera forma de medición es el rem (roentgen equivalente en una persona) que es la unidad de la dosis de exposición de cualquier radiación a la cual están expuestos los tejidos del cuerpo. Se mide en términos de sus efectos biológicos estimados en relación con una dosis de exposición de 1 R de radiación X o gama. (O'Brien, 1985).

Hasta este punto del análisis, poseemos un breve panorama de cómo funciona la radiología desde el ámbito subatómico y a través de las ondas electromagnéticas. Para el presente trabajo me pareció importante puntualizar la parte física y subatómica de cómo funcionan los rayos X en la materia para lograr plasmar las imágenes en las radiografías, donde finalmente se desarrolla el estudio de los orificios y los proyectiles encontrados en los cráneos.

IMPORTANCIA DE LA RADIOLOGÍA FORENSE.

Como he descrito anteriormente, tras el descubrimiento de los rayos X fue inmediata la fundación de la radiología como ciencia médica gracias a la magnitud sin precedentes de sus aportaciones a la hora de analizar el interior del cuerpo humano. De forma similar fue inmediato su uso para apoyar a la ciencia forense, ya que los rayos X proveían de la posibilidad de estudiar los cadáveres sin alterar su composición ni transgredirlos como ocurre con la autopsia tradicional, es decir era una manera no invasiva de disertar las causas de muerte sobre todo en asesinatos donde se necesita un veredicto puntual. Es precisamente durante una investigación criminal donde la medicina legal forma parte esencial como apoyo a la disciplina jurídica, es por ello que la radiología forense ha tomado una gran importancia en las últimas décadas.

La radiología forense como herramienta jurídica.

La medicina legal y forense constituye la especialidad médica cuya función primordial es la utilización de los conocimientos médicos, jurídicos y éticos, para la aplicación, desarrollo y perfeccionamiento del Derecho y la justicia en México a través de la actividad profesional médica. La radiología forense es por tanto el vínculo entre el derecho y la medicina, cuyo mayor interés es el de esclarecer cómo ocurrieron muertes y lesiones sobre todo en casos donde se presupone un crimen.

Con base en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, es importante señalar el concepto de prueba en el ámbito jurídico. Para ello citaré lo relevante al término utilizado en la Constitución para así puntualizar lo concerniente a la radiología como prueba judicial.

La importancia del tema de la prueba en el sistema acusatorio está determinada en los artículos 16 Y 19 constitucionales reformados, como requisitos para el libramiento de la orden de aprehensión y el auto de vinculación al proceso. Con la prueba se exige precisar los datos que establezcan que se ha cometido el hecho delictuoso y que exista la posibilidad de que el indiciado cometió o participó en su comisión. (Aguilar, 2013)

El artículo 20 establece los principios en que se sustenta el sistema procesal acusatorio y oral. Especifica sus principios generales en sus diversas fracciones del apartado A, en los siguientes términos: *1.- El proceso penal tendrá por objeto el esclarecimiento de los hechos, proteger al inocente, procurar que el culpable no quede impune y que los daños causados por el delito se reparen. 2.- El dato de prueba, está referido al contenido de un determinado medio de prueba, aun no desahogado ante el juez del juicio oral, pero que se advierte idóneo, pertinente y suficiente para establecer, con base*

en él y de acuerdo con las reglas de la lógica, los conocimientos científicos y las máximas de la experiencia, que se ha cometido un hecho que la ley señal como delito y que exista la probabilidad de que el imputado lo cometió o participó en su comisión 3.- Por medios de prueba se entiende la declaración del imputado, la testimonial, la pericial, la documental, y cualquier otro medio técnico científico, siempre que sea conducente y no sea contraria a derecho. Los datos de prueba y las pruebas propiamente dichas tendrán pertinencia y utilidad para el esclarecimiento de los hechos, por ello el juez, podrá limitar su aceptación y desahogo. (Aguilar, 2013)

Es necesario tener en cuenta la narrativa de los artículos 79 a 88 del código penal correspondiente a los delitos contra la vida donde se hace diferencia entre matar con intención o matar sin intención, ya sea por negligencia, error, accidente, etcétera, pero cuando una persona dispara y mata, ¿cómo se puede determinar en todos los casos la diferencia? El artículo 80 del Código Penal otorga la pena máxima cuando alguien mata por: “Con ensañamiento, alevosía, por precio o promesa remuneratoria, por placer, codicia, odio racial o religioso...” (Vidrio, 2007).

El artículo 84 reprime con prisión de 6 meses a 3 años, al que por imprudencia, negligencia, impericia en su arte o profesión causare a otro la muerte. En el artículo 34 se absuelve al que matare en cumplimiento de su deber o al que obrare en defensa propia de sus derechos. Es indudable que de las pruebas aportadas en un juicio, el magistrado será quien decidirá en cuál de las tres categorías encuadrará el imputado, pero también es verdad que el perito balístico deberá aportar pruebas determinantes para evitar errores fatales, pruebas basadas en preguntas como ¿de qué forma utilizó el arma?, y ¿con qué intención? (Vidrio, 2007).

Es por ello la imperante relevancia a la hora de determinar un juicio de herida de bala y analizar el arma procedente para así evitar yerros que le den impunidad al crimen.

Avances y técnicas de la radiología forense.

Durante muchos años, la única forma de energía o radiación empleada por la radiología fueron los rayos X. A principio de los años sesenta, comenzaron a utilizarse los equipos de ecografía o ultrasonografía, aparatos que empleaban los ultrasonidos para obtener imágenes del interior del cuerpo. Sin embargo durante los últimos años las técnicas modernas en imagenología como la Resonancia Magnética (RM) y, especialmente, la Tomografía Computarizada Multicorte (TCM) están incrementando su implementación en las evaluaciones post mortem. (Quiñones, 2005).

Una de las aplicaciones de los rayos X que fue revolucionaria es la Tomografía Axial Computarizada, o TAC, que permite realizar exploraciones tridimensionales de todos los órganos del cuerpo incorporando a un tubo de rayos X giratorio un potente ordenador que es capaz de reconstruir las imágenes. (Monasterios, 2011)

La Tomografía Computarizada Post-Mortem (PMCT) es en la modernidad un procedimiento claramente útil y recurrido en casos de lesiones por bala, ya que a través de él se puede elucidar los patrones de las heridas, proporcionando una fuerte evidencia médica de gran utilidad durante el litigio en un juicio. Esta técnica es especialmente ventajosa en casos de heridas de bala, puesto que permite la localización puntual de bala y sus posibles fragmentos dentro del cuerpo. En tales casos, el uso de la representación 3D le provee al radiólogo de información esencial y específica, y que en algunos casos sería imposible de conseguir con una radiografía convencional, tales como: descripción exacta de la trayectoria de la herida, discernimiento entre heridas de entrada y salida, así como la fractura ósea vista de forma más íntegra junto con los fragmentos en el interior del cráneo. (Monasterios, 2011)

Otra de las técnicas más novedosas y actuales es la Imagen de Resonancia Magnética Nuclear (NMRI), cuyos equipos contienen potentes dispositivos aptos de generar campos magnéticos capaces de alinear ordenadamente el momento magnético nuclear de los átomos del organismo que se estudia, lo que provee de un análisis mucho más preciso al convencional. Estas radiaciones, recogidas y procesadas por ordenador, se emplean para reconstruir imágenes del interior del cuerpo en las cuales la intensidad mayor o menor de la señal corresponde a los átomos de los tejidos de los órganos específicos que se están estudiando. (Quiñones, 2005).

Recientemente se está incorporando a las técnicas de la radiología la Tomografía por Emisión de Positrones (PET o TEP). Se trata de una tecnología que utiliza isótopos radiactivos que se introducen en moléculas orgánicas o radiofármacos que son inyectados al paciente y posteriormente se analiza la

emisión radiactiva de los diferentes tejidos según la captación del radiofármaco que presenten. Generalmente se utiliza glucosa marcada con flúor-18, por lo que existe mayor afinidad por parte de las lesiones tumorales o inflamatorias. Se pueden realizar estudios combinando TAC y PET, lo que permite mayor resolución espacial junto con imágenes funcionales. (Monasterios, 2011)

Estos nuevos procedimientos no obtienen sólo imágenes reales del interior del cuerpo, sino que permiten reconstruir una región anatómica a través de las imágenes computarizadas, las cuales pueden ser aisladas, maximizadas, fragmentadas, etcétera, todo para lograr un mejor y más cabal enfoque en el estudio de las lesiones y de los proyectiles alojados en el cuerpo y en el cráneo, así como aspectos sobre la densidad de los objetos alojados, calibraciones, condiciones de las fracturas, orificios, etcétera.

Actualmente se ha acuñado el término "virtopsia" para denominar el conjunto de procedimientos radiológicos con finalidad forense que pueden realizarse a través de tecnología radiológica digital. Tales técnicas tienen aplicaciones en patología y también en clínicas forenses ya que las ventajas son inmedibles, puesto que se puede estudiar el cuerpo humano o una región anatómica en tiempo real, sin abrir o mutilar los órganos internos y lográndolo, además, interactivamente. La virtopsia puede recaer sobre un cadáver o una persona viva, y permite, entre otras cosas, detectar detalles ocultos, conocer las propiedades de los tejidos, investigar las modalidades de lesión en modelos tridimensionales sin alterarlos, entre muchas otras aplicaciones forenses. (Monasterios, 2011)

La virtopsia en la medicina forense.

Muchas de las ciencias forenses, tales como la genética y la toxicología forense, ya han implementado técnicas modernas, las cuales están revolucionando estos campos. En contraste con esto, la medicina forense aún utiliza métodos basados en evidencia introducidos desde hace siglos. El estándar de oro para examinar una persona fallecida es abrir el cadáver, realizar una descripción oral exacta y una documentación escrita.

Los hallazgos internos y externos importantes son documentados por fotografía convencional de dos dimensiones. Infortunadamente, en muchos de los casos, después de esta observación subjetiva y dependiente del observador no hay oportunidad de repetir un examen porque el cuerpo ha sido cremado. Por lo tanto, los hallazgos que no han sido documentados son irrevocablemente destruidos. (Céspedes, 2012).

Parece que el rápido desarrollo de la medicina moderna ha pasado por la medicina forense sin una influencia relevante. Sólo en casos especiales, las

técnicas radiológicas como la radiología convencional y la Tomografía Computarizada (TC) son usadas en el contexto forense, por ejemplo, para demostrar heridas por arma de fuego. En 1977, se realizó en Estados Unidos la primera TC post-mortem para describir una herida por arma de fuego en la cabeza. En los siguientes años, pocos artículos aparecieron comparando los hallazgos de la autopsia con los de la TC post-mortem. Con la invención de la TC helicoidal en 1989, se hizo posible la reconstrucción tridimensional de los datos. Esta herramienta fue utilizada para asuntos forenses, pero su aplicación no incrementó mucho el uso de técnicas radiológicas en medicina forense. La Resonancia Magnética (RM) también se ha utilizado en personas fallecidas, lo que ha hecho posible las correlaciones entre la autopsia y la imagen en sección transversal. (Céspedes, 2012).

El examen de cuerpo completo, previo a la autopsia, con la Tomografía Computarizada Multicorte (TCM) y la Resonancia Magnética (RM), aunado a la comparación de técnicas imagenológicas de corte transversal con los resultados de la autopsia convencional, son parte del trabajo realizado dentro del proyecto Virtopsia en el Instituto de Medicina forense en Berna, Suiza. Como el nombre “Virtopsia” (cuyo significado es “virtual” y “autopsia”), este proyecto tiene como objetivo desarrollar y validar nuevos enfoques que permitan una autopsia “virtual” mínimamente invasiva. En Berna se está trabajando en colaboración con la policía para la digitalización óptica de superficie en 3D y la fotogrametría aplicada en algunos casos forenses. Los datos de todas las técnicas realizadas son combinados para resolver casos criminales. (Céspedes, 2012).

Principales herramientas de la virtopsia.

a) Tomografía Computarizada (TC).

En el proyecto Virtopsia, la TCM es la herramienta más utilizada. El Instituto de Medicina Legal en Berna posee un escáner detector de seis filas (Emotion 6, Siemens Medical Systems, Erlangen, Alemania), por lo tanto, este tipo de imágenes de corte transversal son parte de la rutina diaria en Berna. La TCM es una excelente herramienta para potenciar la autopsia tradicional y puede, en el futuro, reemplazarla en ciertos casos. La principal ventaja de un análisis por TCM previo a la autopsia es que proporciona información adicional a la autopsia tradicional. Esta puede ser resumida y dividida en las siguientes tres ventajas:

Detección y demostración de fracturas: Análogo a la radiología clínica, el diagnóstico de una fractura se puede realizar en las imágenes de corte transversal. La forma y el patrón de una fractura son extremadamente importantes en medicina forense, ya que pueden dar pistas sobre el origen de

un trauma. En cuanto a una reconstrucción en 3D, esta puede ser muy útil para saber de qué lado se produjo el impacto para ocasionar la fractura. También es posible obtener información adicional sobre el instrumento que causó la lesión.

Una gran ventaja de los modelos en 3D de la fractura es que dan un buen panorama de las lesiones óseas y las muestra de una forma fácil de entender, incluso para los abogados médicos. Esto puede facilitar la colaboración entre médicos forenses, la policía y la justicia. Adicionalmente, fracturas pequeñas que pueden ser pasadas por alto en la autopsia, como las fracturas transversales o costales de la columna vertebral, pueden ser fácilmente detectadas sobre los datos de la TCM. (Céspedes, 2012).

Detección de cuerpos extraños: El metal es fácilmente detectado y localizado en un cuerpo, porque este posee una mayor absorción de rayos X en comparación con el hueso y el tejido blando. En medicina forense, este hecho es útil por múltiples razones. En los casos de disparos, una evaluación por TCM puede mostrar los proyectiles que quedan en el cuerpo. Para la reconstrucción de homicidios y suicidios, una localización exacta de las balas, es de gran ayuda. Sin embargo, algunas veces estos hallazgos son difíciles de encontrar con una autopsia tradicional, especialmente si la bala se ha desintegrado en el interior del cuerpo.

Otros cuerpos extraños, tales como implantes médicos, también se pueden detectar fácilmente con un examen por TCM. A menudo, estos objetos son de gran interés forense, por ejemplo, para evaluar la correcta colocación de este tipo de implantes dentro del cuerpo en denuncias por mala práctica. Por otra parte, además de los asuntos forenses ya mencionados, la localización y detección de implantes se utiliza para identificar un cuerpo. (Céspedes, 2012).

Detección de aire: En la autopsia tradicional, la búsqueda de una embolia por aire o un neumotórax es bastante difícil. En este último caso, se tiene que hacer una “ventana pleural”, removiendo la piel y apartando los músculos intercostales del tórax. Si los pulmones pasan a estar al nivel de las costillas, un neumotórax puede ser descartado. Con el uso de TC post-mortem, el gas puede ser detectado fácilmente, ya que este no absorbe los rayos X. Por lo tanto, un neumotórax puede ser localizado fácilmente, un embolismo aéreo puede ser detectado y hasta cuantificado usando TCM post-mortem.

b) Fotogrametría digital y escaneo de superficie en 3d.

Además de las técnicas radiológicas para la documentación de los resultados internos en el proyecto Virtopsia, la fotogrametría digital y el escaneo de superficie en 3D, se utilizan para la documentación de los hallazgos externos y de lesiones infligidas por instrumentos. Para este método, en el proyecto

Virtopsia, se usa el sistema GOM TRITOP/ ATOS III (GOM, Braunschweig, Alemania), el cual reproduce la geometría de un objeto en 3D, con alta resolución. (Céspedes, 2012).

La digitalización de un objeto consiste en dos pasos. En primer lugar, la fotogrametría se realiza para predefinir puntos discretos del objeto. Por lo tanto, se aplican al objeto objetivos de referencia y marcadores de código, así como las escalas codificadas. A continuación, se toman varias imágenes desde diferentes puntos de vista. Las fotos se transfieren a la computadora y el software TRITOP calcula las coordenadas 3D de los puntos de referencia. Durante el escaneo de superficie en 3D, que constituye el segundo paso del proceso de digitalización, las exploraciones sencillas de estos puntos de referencia se combinan, de forma automática, a partir de diferentes puntos de vista alrededor del objeto, generando un conjunto completo de datos en 3D. (Céspedes, 2012).

El escáner de superficie ATOS III consta de una unidad de proyección central y dos cámaras digitales montadas al lado del proyector. Un patrón de franjas es proyectado sobre la superficie del objeto, el cual es registrado por dos cámaras CCD. El sensor está conectado a una PC de gama alta. Todas las imágenes capturadas son inmediatamente transferidas. Basado en el principio de triangulación, el software de escaneo ATOS calcula coordenadas 3D de hasta 4 millones de puntos de superficie por medición. (Céspedes, 2012).

Los resultados de estos métodos de digitalización son modelos en 3D a color, basados en datos reales, de la superficie de un cuerpo, un accidente vehicular o un arma. Los modelos muestran hasta las más mínimas lesiones o defectos. Combinados con los datos radiológicos, estos modelos son empleados para reconstrucciones de accidentes y homicidios. (Quiñones, 2005).

Por ejemplo, la reconstrucción basada en datos reales puede ser usada para comparar una herida de bala con una pistola, la cual se encontró en la escena del crimen. El modelo 3D de la presunta arma puede ser combinado con el modelo de la lesión. La morfología de la lesión puede ser comparada con la figura de la pistola. Esto puede probar que la pistola es el objeto causante del daño y también revela la posición exacta de la pistola en el momento del disparo. Esta situación es importante, especialmente, en casos donde se sospecha un suicidio. (Céspedes, 2012).

La perspectiva actual de la virtopsia.

Desde el inicio del proyecto "Virtopsia", en el año 2000, se ha acumulado una gran cantidad de experiencia utilizando la radiología en el ámbito de la medicina forense demostrando así tanto el potencial como las limitaciones del proyecto. Un aspecto vital de este proyecto es la estrecha colaboración entre los patólogos forenses y los radiólogos. La aplicación de TCM y RM antes de la autopsia, puede aportar grandes ventajas. En la actualidad, todavía es necesario probar cada hallazgo radiológico, comparándolo con los resultados de la autopsia tradicional para evaluar los nuevos métodos imagenológicos. La fotogrametría y el escaneo de superficie en 3D, ya tienen utilidad en la corte, donde han sido aceptadas. (Céspedes, 2012).

La radiología ha entrado en el campo de la medicina forense. Las instituciones están trabajando en la evaluación de TCM y la aplicación de RM en asuntos forenses. Mediante la combinación de imágenes radiológicas con la fotogrametría y el escaneo de superficie en 3D, ahora es posible lograr una documentación objetiva, exacta, externa e interna de un cuerpo. Esta información permite la realización de reconstrucciones detalladas. El desarrollo y la aplicación de herramientas adicionales como la biopsia y la angiografía post-mortem darán lugar a una autopsia mínimamente invasiva la cual tiene el potencial de, en algunos casos, reemplazar a la autopsia tradicional. (Céspedes, 2012).

Identificación de huesos craneales mediante radiografías antemortem y posmortem.

Además de la identificación de cadáveres carbonizados, putrefactos, politraumatizados, etcétera, la comparación a través de radiologías *antemortem* y *posmortem* provee pruebas decisivas a la hora de reconocer datos o heridas craneales, faciales, de huesos largos y dentales. El tiempo transcurrido de la radiografía desde su origen no interfiere para confrontar la identificación. Las radiografías deben tomarse desde distintos ángulos y en diversos tiempos de exposición para obtener una placa que se aproxime a la *antemortem*. La comparación se debe realizar a la misma escala para poder establecer su compatibilidad morfológica y osteométrica. (Ramírez, 1990)

BALÍSTICA FORENSE.

La inclinación social hacia la cruda perpetración del crimen es en la modernidad terreno de lo cotidiano. En nuestro país, por ejemplo, es elevado el porcentaje en donde dichos crímenes son consumados a través de armas de fuego. La justicia es por tanto esa febril búsqueda del criminólogo para analizar los hechos y, consistentemente, proporcionar pruebas inequívocas cuya presencia revelen la forma en que ocurrieron homicidios o lesiones.

No es otra sino la búsqueda de una prueba determinante lo que hará mover los engranajes de la justicia siempre en favor de la verdad. Sin una prueba determinante la culpabilidad o la inocencia seguirán esa ruta de lo abstracto y dubitativo. Es por ello que hoy la prueba pericial posee gran importancia.

Es aquí donde entran las diversas ciencias y todo el avance del conocimiento humano para lograr el encuentro con la verdad en toda injusticia, ya que así como es elevado y complejo el pensamiento del hombre, en la misma medida es la complejidad con que se llevan a cabo los crímenes más inusitados.

Para alcanzar el acierto de la tarea judicial es la criminalística la ciencia titular cuyos esfuerzos están destinados a concretar pruebas y determinar causas precisas de los eventos criminales. La definición de criminalística es la siguiente “disciplina que aplica fundamentalmente los conocimientos, métodos y técnicas de investigación de las ciencias naturales en el examen del material sensible significativo relacionado con un presunto hecho delictuoso, con el fin de determinar, en auxilio de los órganos encargados de administrar justicia, su existencia, o bien reconstruirlo, o bien señalar o precisar la intervención de uno o varios sujetos en el mismo” (González, 2001). Otra definición la expresa como “conjunto de procedimientos aplicables a la búsqueda y el estudio material del crimen para llegar a su prueba” (González, Manual de Introducción a la Criminalística, 1984). Una última definición nos dice que es una “disciplina auxiliar del derecho penal que se ocupa del descubrimiento y comprobación científica del delito y el delincuente”. (Goldstein, 1993)

De la criminalística forma parte la balística cuya rama denominada “forense” es la que atañe al siguiente estudio. La balística se define como “ciencia que estudia el movimiento de los proyectiles, el fenómeno que ocurre en el interior de las armas para que sea lanzado el proyectil al espacio, lo que ocurre durante el desplazamiento y los efectos que produce al tocar algún cuerpo u objeto” (González L. R., Balística Forense, 2001). En cuanto a la balística forense la definición está perfilada evidentemente no sólo a los aspectos físicos de trayectoria y conceptos de arma de fuego o tipos de proyectiles, sino que está íntimamente ligada al derecho, ya que busca determinar lesiones y sucesos en crímenes y delitos.

En otras palabras, la balística forense es una rama especializada de la criminalística orientada al estudio integral tanto de las armas de fuego, alcance, orientación y dirección de los proyectiles, así como los efectos que éstos producen para esclarecer los eventos de un presunto crimen.

El propósito coyuntural de la balística forense es el de establecer, por medio de procedimientos técnicos, la correlación y procedencia de los indicios intrínsecos con las armas de fuego; como son los casquillos y las balas que son recolectadas durante una investigación de criminalística de campo, así como de la reconstrucción de las trayectorias de los proyectiles y las consecuencias originadas por los mismos, con la finalidad de llegar al discernimiento de la verdad y demostrarla, empleando para ello el conocimiento que se desprende de las tres ramas de la balística forense las cuales son interior, exterior y de efectos; todo esto para aportar las suficientes pruebas que demuestren la participación de los autores específicos en sucesos delictivos. (Gordilla, 2012).

Al entender las definiciones de las ciencias encargadas del trabajo analítico de los crímenes perpetrados con armas de fuego no hace falta ahondar en la vital importancia de éstas disciplinas y la trascendencia del trabajo profesional del perito balista cuya determinación será crucial ante la búsqueda de la verdad en un hecho delictuoso.

Armas de fuego.

Ya que es precisamente el objeto denominado “arma de fuego” la causa directa y tangible que deriva en la formación de la ciencia balística, es decir, las armas de fuego son las protagonistas y el origen de los estudios y todas las disertaciones expresadas a través de la balística forense, es por ello que me parece trascendente mencionar, de forma bosquejada, la constitución de las armas más comunes y sus definiciones, así como detalles técnicos pertinentes sobre su uso actual y a través de la historia.

La humanidad a través de los siglos ha utilizado diversos mecanismos para incrementar la velocidad de proyectiles en artefactos bélicos, es decir, el hombre se dio cuenta de que a mayor velocidad, más grande era el daño ocasionado por un proyectil. Este es el principio que derivó en la creación de las armas de fuego modernas. Como regla general, está comprobado que un proyectil que genera una energía de ocho kilogramos por metro puede producir una baja humana, por lo tanto la energía cinética fue desde siempre el eje determinante en la efectividad de los proyectiles hasta llegar a los conocidos en la actualidad.

En 1313 el monje Mark B. Shwart utiliza el poder propulsor de la pólvora y se inicia la fabricación de las armas de fuego y su veloz adaptación encaminada hacia objetivos militares, comenzando así una vertiginosa serie de avances en calidad, precisión, sofisticación y tecnología. (Luque, 2007).

Como definición, “un arma de fuego es aquél artefacto mecánico destinado para ofender o defenderse cuya constitución física puede variar en forma y dimensión; el cual utiliza la presión generada por la combustión de pólvora para expulsar a gran velocidad uno o varios proyectiles a la vez”. Es conveniente apuntar que el hecho de que sea finalmente el fuego el que origina el proceso de la expulsión violenta del proyectil al espacio dé lugar a que los aparatos sean llamados precisamente armas de fuego. (Vidrio, 2007).

Indudablemente el hombre ha derrochado todo su ingenio bélico en la constante búsqueda de artefactos cada vez más eficientes con la firme intención de obtener la máxima capacidad de destrucción de su propia especie y de las demás. Esa búsqueda de crear el arma más letal es signo inequívoco de la parte más sombría de nuestra naturaleza cuya inclinación es decididamente hacia la maldad. La justificación de la creación de armamento siempre será la protección, sin embargo si el hombre no tuviese dicha inclinación al egoísmo y a la maldad, las armas serían innecesarias.

En el siglo pasado, la desafortunada y catastrófica presencia de dos grandes conflictos mundiales desencadenó una alocada carrera de tecnología y competencia para desarrollar e impulsar al máximo el poder destructivo de las armas de fuego. De ello surgió la perfección de los proyectiles de alta velocidad para los fusiles de combate y después la proliferación de armamento más pesado y necesariamente mortal, como rockets, proyectiles blindados, DUM-DUM etc., hasta desembocar en la aparición de la tecnología nuclear, que provoca lesiones por radiación y muertes masivas. (Luque, 2007).

Es cierto que la principal motivación y utilización de las armas de fuego inició en los conflictos mayores, pero no se puede olvidar que los disturbios civiles internos y la violencia que se ha desarrollado en los últimos años, también juega un papel importante en la génesis de las heridas por armas de fuego.

Hoy por hoy, la superpoblación mundial, la violencia, las crisis de valores y la relativa fácil disponibilidad de armamento menor, ha convertido nuestras ciudades en sitios de alta peligrosidad, en donde las heridas por armas de fuego con pistolas y revólveres ocupan un alto puesto en las causas de morbi-mortalidad y las estadísticas siguen aumentando. (Luque, 2007).

Evolución de las armas de fuego.

Las armas han ido modificándose gracias a los esfuerzos del hombre por alcanzar artefactos cada vez más letales en la búsqueda principalmente de poder y dominio. Aquí menciono las modificaciones más significativas a lo largo de la historia.

a) Armas de encendido directo (cañón de mano).

Fue el primer artefacto que podríamos considerar como un arma de fuego, apareció en el siglo XVI con poca influencia bélica. Se constituía de un tubo de metal unido a un mango denominado culata y un orificio final llamado fogón al cual se le acercaba un hierro candente para producir la ignición de la pólvora.

b) Armas de mecha y serpentina.

Al ser muy insegura la manera de producir la deflagración de la pólvora, al cañón de mano se le agregó una mecha y una serpentina, la cual es una pieza metálica en forma de "S" con un pivote que al girar provocaba el disparo.

c) Armas de rueda.

Estos artefactos realizaban el encendido de la carga de pólvora mediante un sistema distinto, muy semejante al de los encendedores de hoy en día, ya que poseían una rueda que se hacía girar mediante una cuerda.

d) Armas de piedra.

Funcionaban básicamente gracias a la generación de chispas a través del contacto de una piedra tallada y el metal incrustado en el arma, lo que hacía detonar la pólvora. Otro avance fue que eran más rápidas de cargar.

e) Armas de percusión.

Este tipo de armas introdujeron un sistema de encendido innovador, el cual estaba basado en una mezcla de fulminato de mercurio. Consistía en utilizar una cápsula de cobre en la que se introducía una pequeña cantidad de fulminato de mercurio y se enroscaba en el fogón. La cápsula explotaba por el aplastamiento provocado por el choque violento del martillo, de tal manera que lanzaba una llamarada sobre la carga principal de pólvora dando lugar a la producción del disparo del proyectil.

d) *Armas de cartucho metálico (espiga, anular y central a retrocarga).*

En estas armas se inventan las cargas de los proyectiles a través de un cartucho metálico y no por el mismo cañón del artefacto. Eran fáciles de cargar gracias a ese avance.

e) *Armas de repetición.*

En estas armas, gracias a la invención del cartucho donde se cargaba el proyectil, se le agregó un tambor el cual podía almacenar más de una bala cada una con su propio casquillo, fulminante y pólvora. (Vidrio, 2007).

Clasificación general de los tipos de armas de fuego.

Para el siguiente estudio explicare brevemente los tipos de armas en su constitución general. Es importante señalar que las diferencias entre ellas provocan diversos resultados a la hora de analizar los casos en las radiografías y pruebas periciales. A causa de la naturaleza concisa del presente análisis no abordaré variaciones de armas más específicas sino sólo las más recurridas y universales.

a) *Revólver.* La palabra tiene su origen en el latín, *revolvere*, que derivó en el vocablo inglés *revolv*, cuyo significado es girar o rotar. Considerado como un dispositivo que soporta diversos mecanismos y que por un simple giro permite colocar la pieza elegida en la posición adecuada para su utilización. De ello se desprende que el revólver corresponde a una pistola de cilindro giratorio con varias recámaras que rotan sucesivamente para alinearse con el eje de su cañón.

b) *Pistola.* Se denomina como un arma corta que se amartilla, apunta y dispara con una sola mano aun cuando se pueden emplear ambas manos para sujetarla con mayor firmeza. Con respecto al origen del término no hay un argumento oficial, sin embargo se dice que proviene del nombre de la ciudad Pistoia de donde eran originarios Camilo Vetelli y Estefano Enrico investigadores de la fabricación de armas del año 1540. Otra teoría nos dice que el término proviene de Francia, donde los caballeros denominaban *pistal* al estribo de la silla de montar a la que se encontraba unida la funda para depositar el arma corta. Existen versiones basadas en la etimología donde se rastrea el origen al germánico *pistolé*, que a su vez se deriva del checo *pichtal*, palabra con la que se designaba un arma corta.

En la génesis de las armas denominadas cortas de finales del siglo XIX, desde el revólver de Samuel Colt hasta la actualidad, las pistolas funcionan de manera general como algunas armas largas como los fusiles, a diferencia de

que a causa del tamaño proveen de ventajas en cuanto a su trasportación y utilización a una sola mano. Sin embargo las armas largas son evidentemente más potentes y gracias a su culata fija y de mayor tamaño producen mayor precisión ya que amortiguan la fuerza de retroceso del arma.

c) *Carabina*. No posee un origen en particular, se establece como un arma de fuego larga, de peso ligero y de menor longitud que el rifle o fusil. En esencia es similar al rifle, aunque con un cañón más corto, por lo general de un calibre más pequeño y con un alcance más limitado. Su nombre se registra desde el siglo XVI, aplicado a un mosquete corto que se adaptó a las tropas de caballería.

Durante la Segunda Guerra Mundial, la carabina fue empleada como arma individual de las tropas de artillería y de servicio, aunque a principios de la década de 1960 se reemplazó por el fusil M14.

d) *Fusil*. Proviene del latín, *focile*, que significa pedernal, derivado a su vez de *focus*, cuyo origen es el de las antiguas armas de piedra que como se mencionó antes utilizaban una piedra para producir las chispas que iniciaban la combustión de la pólvora. En la actualidad se le considera como un arma de fuego portátil, que consiste en un cañón de hierro o acero montado en una culata de madera y dotado de un mecanismo con el que se dispara.

e) *Rifle*. Su origen se deriva de la locución inglesa *rifled* o *rifling*, que significa estriado o rayado, de manera que el término rifle puede usarse indistintamente con el término de fusil para describir las armas largas de cañón rayado, ya que no hay una particular diferencia entre ambos conceptos. La característica del rifle es la precisión así como un amplio alcance.

f) *Subfusiles o subametralladoras*. Son clasificados como armas largas, pero la principal característica que las distingue como de categoría inferior es el hecho de que utilizan cartuchos para pistola, es decir, de menor potencia, pues tienen un propósito táctico especial en situaciones donde se requiere gran capacidad de fuego corto y de mediano alcance. Estas armas normalmente cuentan con un mecanismo para seleccionar el disparo que se desea realizar, ya sea semiautomático (tiro por tiro) o automático (en ráfaga).

g) *Ametralladoras*. La palabra proviene del francés, *mitraille*, que significa metralla, lo que corresponde al conjunto de trozos de hierro, cobre, etcétera. Se define como un arma de fuego semiportátil cuyas operaciones de carga, disparo y extracción se llevan a cabo por mecanismos automáticos de gran velocidad de tiro, permitiendo el fuego continuo o sostenido. La cadencia de disparo de algunas alcanza hasta los 1250 disparos por minuto.

h) *Escopeta*. Proviene del italiano, *scoppietto*, derivado del latín, *vox stloppu*, que significa estallido. Actualmente se define como un arma portátil con uno o dos cañones montados para disparar varios proyectiles en cada disparo. La efectividad de esta arma estriba en la capacidad de producir gran daño en cortas distancias, de ahí que sea utilizada principalmente en la cacería. (Vidrio, 2007).

El calibre de las armas de fuego.

Como podemos apreciar los tipos de armas varían en el nivel de potencia, precisión, velocidad de disparo, munición y principalmente calibre, lo cual genera diversos tipos de daño. Al impactar con el cuerpo humano la mayoría de estas armas produce un alto grado de destrucción y letalidad. La principal medida del daño se produce gracias al tipo de calibre, entre mayor sea éste mucho más estragos provocará en su objetivo.

Para la balística forense es indispensable medir el tipo de calibre para determinar con qué armamento fue provocado, sin embargo en la antigüedad gracias a la existencia de múltiples calibres creados por los fabricantes, no existía forma de determinar a qué arma pertenecía ni el tipo de medida puesto que no estaba estandarizado. Aun hoy, estas aparentes confusiones persisten, pues todavía no se aplica un solo sistema para establecer el calibre de todas las armas de fuego. Además, en el desarrollo e introducción de nuevos artefactos al mismo tiempo se diseñan los cartuchos que estos van a utilizar. (Gordilla, 2012).

De manera que cada fabricante puede proporcionar a su trabajo las especificaciones técnicas y de nomenclatura que más le convengan. También genera confusión el hecho de que los calibres de las armas con cañones rayados (es decir las estrías o surcos helicoidales en el interior del cañón de un arma de fuego, lo que al disparar imparte un movimiento de rotación al proyectil a lo largo de su eje) como en las pistolas o fusiles se mide de manera distinta que el de las escopetas. (Vidrio, 2007).

Es necesario señalar que el calibre es sinónimo de diámetro, que en geometría se define como el eje de una esfera, lo que corresponde a la línea recta que une dos puntos cualesquiera del centro de una circunferencia. En el caso del calibre, hablamos del trazo interior del tubo que conforma el cañón de las armas, sin embargo para fines prácticos de balística forense se considera que el calibre corresponde al diámetro de las balas percutidas por el arma de fuego. (Gordilla, 2012).

Estudio de un arma de fuego en balística forense.

Aun con las esbozadas descripciones de las armas de fuego escritas anteriormente, podemos vislumbrar la complejidad del trabajo pericial en casos donde es crucial determinar la procedencia y el tipo de lesiones ocasionadas por un tipo específico de arma. Si bien son múltiples los requerimientos que pueden hacerse al perito en materia de armas de fuego, como por ejemplo la determinación de la marca, modelo, origen y época o año de fabricación, lo más recurrente en la gran mayoría de los casos de homicidio o crimen se limitan a los siguientes estudios fundamentalmente:

a) Determinación del estado de conservación y aptitud para el disparo, es decir, las condiciones actuales que posee el arma para ser disparada:

Con esta interrogante el perito determina si el arma involucrada en una causa es de funcionamiento normal y apta para producir disparos, es decir para percutir el cartucho provocando su detonación y expulsar adecuadamente el proyectil. (Gordilla, 2012).

Para ello el experto debe en primer lugar proceder a efectuar un pormenorizado estudio del arma sometida a análisis, siendo en muchas oportunidades necesario recurrir a su despiece para poder establecer el grado de desgaste o deterioro de los mecanismos internos del arma. Luego de este estudio preliminar se procede a operar el arma efectuando percusiones primero en vacío y luego cargada con cartuchos adecuados (de su mismo calibre), disparos que se efectúan sobre un dispositivo especial conocido como “Banco de Obtención de Proyectiles”, el que permite recuperar los proyectiles disparados para verificar sobre ellos las condiciones particulares del disparo, verificación que también se realiza sobre las vainas servidas, mediante la observación de estos elementos con medios ópticos de aumentos adecuados y convenientemente iluminados. (Mota, 2013).

b) Determinación del grado de “celosidad” del arma:

El proceso de fabricación de un arma de fuego se efectúa en estricto ajuste a las normas y especificaciones fijadas por el diseñador, lo que dará como resultado el logro de un producto de óptima calidad conforme dichas especificaciones. Para ello el fabricante ha calculado y probado en los prototipos la forma, constitución, dimensiones y resistencia de todos y cada uno de los componentes de los distintos mecanismos que constituyen el arma.

Uno de esos mecanismos en particular es el “mecanismo de disparo”, constituido principalmente por la cola del disparador (mal llamada “gatillo”), el fiador, el muelle del fiador (partes de la pistola que retienen o liberan al martillo

cuando se acciona el gatillo), el martillo y la aguja de percusión. (Gordilla, 2012).

Para que el disparo se produzca es necesario que, presionando sobre la cola del disparador, se ponga en funcionamiento todo el conjunto de piezas hasta lograr que la aguja golpee sobre el fulminante del cartucho, produciendo su estallido. La fuerza necesaria para lograr este efecto ha sido determinada por el diseñador y respetada por el fabricante, respondiendo a una de las especificaciones que fueran fijadas por aquel. (Mota, 2013).

El desgaste del arma motivado por su intenso uso, la falta de un mantenimiento adecuado o la modificación de las condiciones de alguna de las piezas del mecanismo de disparo, particularmente del fiador, las que pueden deberse a deterioros accidentales o a maniobras realizadas sobre esta pieza con la finalidad de lograr dicha modificación, provoca que varíen las relaciones internas entre las piezas y por lo tanto disminuya la fuerza a aplicar sobre la cola del disparador para lograr el accionamiento del arma, obteniéndose un arma denominada comúnmente como “celosa”, término que en balística forense indica una disminución de la fuerza necesaria para provocar el disparo con relación al valor establecido por el fabricante. (Mota, 2013)

Para arribar a conclusiones categóricas, el experto debe verificar los valores efectuando una serie de mediciones con el empleo de aparatos tales como el “Tensiómetro de cola de disparador”, un dinamómetro horizontal provisto de los accesorios necesarios para fijar el arma y efectuar los ensayos de disparo mientras se mide la fuerza aplicada en la cola del disparador para lograr los mismos, o bien recurriendo a métodos alternativos lo suficientemente confiables como para eliminar errores instrumentales, operacionales o de metodología que modifique el valor del resultado final. (Accorinti, 2014).

Obtenido así el valor de fuerza de disparo para un arma determinada, se compara éste con lo especificado por el fabricante o diseñador, expresando la diferencia en porcentaje lo que en definitiva indica el “grado de celosidad del arma”.

c) Determinación del reciente uso del arma:

El uso reciente de un arma va a ser manifestado por la presencia en su interior de restos de pólvora semi-combustionada o de sus detritus (partículas de la deflagración), para cuya comprobación se requiere realizar una observación cuidadosa del arma, en especial del cañón, recámara y alvéolos (en el caso de los revólveres), lo que se efectúa iluminando adecuadamente los lugares a inspeccionar. Luego se procede a efectuar un “hisopado” de las piezas ya mencionadas utilizando para ello algodón previamente controlado para evitar enmascaramiento de resultados por contaminación. Posteriormente se

estudian esos hisopos de algodón a través de las reacciones químicas específicas de reconocimiento de restos de deflagración de pólvora. Para dicho estudio los especialistas utilizan el “Reactivo de Griess” (Alfa-naftil amina y ácido sulfanílico en medio acético), el cual resalta la presencia de los restos de pólvora mediante la formación de una coloración rojiza característica de los nitritos. (Accorinti, 2014).

Cabe destacar que la comprobación de la presencia de restos de pólvora no esclarece la fecha del último disparo, el que bien pudo ser anterior al evento que se investiga, como así tampoco la ausencia de los mencionados restos implican que el arma no haya sido utilizada recientemente, ya que una limpieza adecuada de la misma elimina todo indicio de su reciente uso. (Mota, 2013).

BALÍSTICA INTERIOR.

Como he mencionado anteriormente la balística forense se divide principalmente en tres vertientes de estudio generales. Una de estas es la balística interior, la cual se define como la rama que estudia todos los fenómenos ocurridos en el arma a partir del momento en que la aguja percutora golpea el fulminante del cartucho, hasta que el proyectil sale por la boca de fuego del cañón. También se ocupa de todo lo relativo a la estructura, mecanismo y funcionamiento del arma de fuego. (González, Balística Forense, 2001).

La balística interior se enfoca en la forma en que la energía en reposo contenida en el propelente se libera y se convierte en energía cinética de un proyectil. Estudia los tres pasos que existen en el proceso de la conversión de energía dentro del cañón:

- a) La pólvora se descompone y forma productos gaseosos; al mismo tiempo se libera gran cantidad de calor por la combustión del propelente.
- b) Las grandes cantidades de calor originan altas presiones en la recámara del arma, obligando a la bala a desprenderse del casquillo, iniciando su movimiento.
- c) La acción provocada por la presión de los gases empuja al proyectil en la dirección de menor resistencia, esto es, hacia la salida de la boca del cañón, y la reacción se traduce en el retroceso del arma. (Vidrio, 2007).

En las anteriores reacciones el primer punto es un fenómeno químico, el segundo es termodinámico y el tercero es físico, por tanto la balística interior atiende los factores químicos y físicos que intervienen para que el proyectil sea expulsado del arma con inusitada velocidad, para de este modo cumplir con su cometido. Por lo tanto esta disciplina no se orienta al estudio exclusivo de los aspectos de la mecánica interna de las armas de fuego, aun cuando los fenómenos se susciten dentro de las mismas. (Accorinti, 2014).

La secuencia de eventos para accionar un arma es, en esencia, el estudio general donde se aboca la radiología interna; los fenómenos que componen la secuencia son los siguientes:

- a) *Percusión*. Cuando el tirador ejerce suficiente presión sobre la cola del disparador para que sea liberado el mecanismo del martillo, el cual a su vez impulsa al percutor presionando al pistón que contiene la mezcla del fulminante.

b) Iniciación del pistón. La mezcla fulminante reacciona al aplastarse el recipiente que la contiene, produciendo la llamarada que se transfiere a través del orificio de destello interior del cartucho.

c) Combustión del propelente. Consiste en el quemado relativamente paulatino de los granos de pólvora, donde la rapidez depende de la forma y el tamaño de los mismos, originando un incremento progresivo de la presión y un aumento en el volumen de los gases.

d) Movimiento del proyectil. En forma instantánea, la presión de los gases produce una dilatación del casquillo, ocupando todo el espacio disponible en la recámara del cañón; al mismo tiempo, el proyectil se desprende del casquillo iniciando su movimiento frontal para ingresar al ánima del cañón.

e) Ocupación del rayado. El impulso obliga al proyectil a incrustarse en el rayado del cañón, cuyos campos se presentan en relieve y tienden a frenar por fricción el desplazamiento de la bala dándole la rotación obligada por la forma helicoidal del estriado del ánima. (Vidrio, 2007).

Metodología de los estudios periciales en balística interior.

Los estudios periciales realizados dentro del ámbito de la Balística Interior tienden a establecer la identidad del arma de fuego, o lo que es lo mismo, lograr su individualización estableciendo fehacientemente que ella y sólo ella pudo disparar un determinado proyectil o servir una vaina dada; lo que se logra a través del estudio comparativo de las vainas y proyectiles, cotejándolos con vainas y proyectiles obtenidos por el perito en la escena de los hechos y generalmente ajustándose para ello al siguiente esquema de trabajo:

a) Determinaciones preliminares. A través de estas operaciones se tiende a efectuar un rápido descarte de las armas, determinando aquellas que nunca hubiesen podido arrojar un determinado proyectil o servir una vaina en particular.

b) Cotejo de vainas. Una de las formas de determinar la identidad de un arma es efectuar un estudio comparativo entre las vainas utilizando el microscopio comparador mediante el cual se efectuará el cotejo de las líneas o rayas distintivas que hayan dejado estampadas en la vaina piezas tales como la aguja de percusión, la uña extractora, el botador y el espaldón, de cuya coincidencia surgirá la categórica conclusión de un común origen, es decir que las vainas en cuestión fueron servidas por la misma arma.

c) Cotejo de Proyectiles. Al igual que en el caso anterior, se trata de lograr a través del estudio comparativo de los proyectiles extraídos durante la

operación de autopsia, durante la curación de heridos o recogidos en el lugar del hecho, etc., cotejándolos con el proyectil que es obtenido por el perito efectuando disparos de prueba con el arma cuestionada o sospechosa sobre un dispositivo idóneo. (Mota, 2013).

BALÍSTICA EXTERIOR.

La balística exterior estudia los fenómenos que ocurren al proyectil desde el momento en que sale del arma hasta que da en el blanco, es decir se dedica fundamentalmente al estudio de la trayectoria de los proyectiles y es por lo tanto la división de esta disciplina que más se ajusta a la definición lingüística del término “Balística” o estudio de la bala y su trayectoria.

Esta disciplina se orienta a la reconstrucción gráfica de las trayectorias que siguieron los proyectiles impactados sobre cualquier estructura, con la finalidad de establecer las posiciones del tirador en relación con las distancias, alturas y ángulos de incidencia de disparos. (Vidrio, 2007).

Términos empleados en el estudio de balística exterior.

Como es notorio, la balística exterior se apoya en las ciencias físicas para desarrollar sus análisis y determinar los datos de la trayectoria de los proyectiles. En este apartado describiré muy brevemente dichos fenómenos físicos y la terminología más común y significativa que se utiliza para esta disciplina.

Velocidad: En física posee dos componentes, movimiento y dirección del movimiento. En el campo de las armas de fuego la velocidad se refiere simplemente a la velocidad de la bala hacia un punto determinado de su trayectoria. Se expresa comúnmente en pies por segundo.

Energía: Se define como la fuerza por unidad de superficie que descarga el proyectil; puede ser de dos tipos: estática y cinética, siendo la de mayor importancia la energía cinética, que es la liberada durante el movimiento. Esta energía cinética es la responsable del impacto sobre el blanco y determina sus características.

Inercia: Como la define la primera ley de Newton la cual indica que un cuerpo tenderá a permanecer ya sea en reposo o movimiento si no se actúa sobre él una fuerza externa. Un proyectil que ha sido disparado de un arma tiende a continuar en movimiento, pero su trayectoria y velocidad serán cambiadas por las fuerzas externas como la resistencia del aire y la gravedad.

Trayectoria: Indudablemente, la trayectoria seguida por el proyectil disparado por un arma de fuego conformará una figura parabólica con nacimiento en la boca del cañón del arma y finalización en el blanco. Esta parábola variará en sus características, principalmente la longitud de su rama ascendente, la altura máxima alcanzada, la distancia máxima a la cual puede ser proyectado, la estabilidad direccional o deriva y toda otra condición que la determine, según

una serie de variables que deberán ser consideradas oportunamente. (Rodríguez, 2014).

Como apunte adicional, en la gran mayoría de los casos tratados en los estrados judiciales es indispensable conocer la trayectoria y establecer la posición probable del tirador, es decir, determinar si el disparo se ha efectuado a relativa corta distancia, por lo que se considera como de mayor interés para la criminalística. Para establecer en forma precisa la trayectoria de un proyectil se debe contar con por lo menos dos puntos por donde el mismo haya pasado.

Es importante mencionar que la determinación de la trayectoria interna del proyectil, es decir aquella que pueda haber seguido dentro del cuerpo de la víctima, no debe estar necesariamente relacionada con la trayectoria externa, ya que, como es sabido, el cuerpo humano no es un objeto estático, sino que por el contrario estamos en presencia de un cuerpo dinámico que posee la propiedad de variar su posición espacial en forma permanente, ocupando difícilmente la misma posición en dos momentos de tiempo consecutivos. (Rodríguez, 2014).

Por esta razón un proyectil que sigue una trayectoria perfectamente horizontal puede dar una trayectoria interna (dentro del cuerpo de la víctima) de tipo irregular, ascendente o descendente según cómo se encuentre el cuerpo al momento de recibir el disparo: en posición vertical, inclinado hacia adelante o inclinado hacia atrás, etcétera, sin embargo este será tema concerniente a la balística de efectos. Por los motivos aquí expuestos, puede considerarse a los problemas que plantea la balística exterior como los de mayor complejidad de resolución, aunque no implica la imposibilidad de lograr conclusiones incuestionables, sino la necesidad de tener presente los factores que influyen directamente en el establecimiento de la trayectoria y evaluarlos convenientemente. (Mota, 2013).

Movimientos del proyectil en el espacio: Los movimientos del proyectil en el espacio estarán influidos particularmente por el tipo y forma de ojiva que posea el mismo, la que será menos afectada por la resistencia del aire cuanto más aguzada sea, así como la velocidad del viento y su dirección con respecto al eje de la trayectoria, pudiendo producir variantes o cambios de consideración. Afectarán los movimientos del proyectil los siguientes aspectos: La masa del mismo, que se verá influida más o menos rápidamente por la aceleración de la gravedad; el paso de la bala por las estrías, que determinará la velocidad del movimiento rotacional del proyectil y por lo tanto su estabilidad direccional, directamente relacionada con su poder de penetración, la mayor o menor resistencia al avance que le oponga el aire, la velocidad inicial con que el proyectil fuera expulsado de la boca del cañón. (Rodríguez, 2014).

Rebotes: Al efectuar estudios de trayectoria se tendrán en cuenta la existencia de probables rebotes en objetos estáticos (columnas, paredes, techos, etc.) y/o dinámicos (vehículos en movimiento), y se determinará la forma en que estos pudiesen haber actuado en la modificación de la trayectoria original, siendo un aspecto de particular importancia en hechos ocurridos en espacios cerrados, tales como viviendas, ya que de ello podría incluso determinarse la intencionalidad agresora de un disparo o la producción de una herida accidental producto de un disparo intimidatorio. (Rodríguez, 2014).

Determinar la posición del tirador: Implica establecer el punto de origen de la parábola o semirrecta, es decir la ubicación de la boca de fuego, para lo cual debe estudiarse detalladamente las características del orificio de entrada (OE). Para este fin se comprueba principalmente su forma: circular u ovoidal, y la resolución del ángulo de incidencia. Estos aspectos darán al especialista una noción de la dirección de procedencia del disparo. Este análisis de la posición del tirador será mucho más preciso en el caso de contar con dos o más elementos que hayan sido afectados por el disparo (por ejemplo perforación en el vidrio de la ventana de una habitación o en la hoja de madera de su puerta de acceso), lográndose en estos casos determinar la posición del tirador con precisión casi absoluta. (Mota, 2013).

Duración de la trayectoria: Es el tiempo que emplea un proyectil en recorrer su trayectoria hasta el punto de llegada.

Impacto: Es el daño, efecto o marca producida por el proyectil en la estructura que golpea. (Vidrio, 2007).

BALÍSTICA DE EFECTOS.

Para el siguiente trabajo, la disciplina de la balística de carácter más pertinente es la de efectos, ya que estudia los daños generados por el proyectil sobre el objeto de destino. En este trabajo revisaremos casos particulares donde el objeto de destino es el cráneo. De manera que la balística de efectos orientará al siguiente análisis para dilucidar sobre las consecuencias producidas por los proyectiles, durante y después de que estos impactaron sobre la estructura craneal.

Puede decirse que el verdadero cuerpo de investigación de este estudio se encuentra enfocado en esta rama de la balística para el análisis de las radiografías que se presentarán en los subsecuentes capítulos, aunque sin demeritar los análisis arrojados por las otras dos ramas de la balística forense anteriormente descritas.

De forma general, la balística de efectos se orienta al estudio de la acción y las consecuencias producidas por los proyectiles, durante y después de que éstos hubieron de impactar sobre cualquier estructura. Se encarga de estudiar el segmento de trayectoria que va desde el orificio de entrada (OE) al orificio de salida (OS), tratando de identificar sus características e indicios o signos que permitan establecer la distancia a la cual ha sido efectuado el disparo. (Locles, 2000).

Para describir de forma general la importancia de la balística de efectos es indispensable señalar los conceptos que se emplean para referir los fenómenos que se originan desde que las balas tienen contacto con la superficie de la piel, para después determinar las teorías más significativas con respecto a los efectos balísticos en las heridas, y particularmente con las producidas en el cráneo.

Ángulo de incidencia.

El génesis del estudio de efectos es determinar el ángulo de incidencia el cual está formado por el OE teniendo en cuenta la posición del cuerpo al momento de recibir el impacto y la trayectoria del proyectil. Algunos autores lo llaman erróneamente ángulo de choque o de penetración, pero en realidad es el que se forma inmediatamente cuando perfora el cuerpo hacia dentro del mismo. (Locles, 2000).

Cuando el proyectil disparado por un arma de fuego incide sobre la piel y los músculos que se encuentran ubicados debajo de la misma, en razón de la elasticidad de las fibras que componen ambos tejidos, se produce primeramente una depresión con elongación de los tejidos, los que finalmente,

al ser vencida por el proyectil la resistencia que estos oponen a su avance, son perforados dejando una herida circular u ovoidal de labios dirigidos hacia el interior de la piel. (Rodríguez, 2014).

El orificio es en la gran mayoría de los casos de diámetro menor al del proyectil, variando el mismo según el tipo de ojiva, la velocidad, los movimientos del proyectil, la profundidad a la que se halla ubicado el plano óseo más cercano, la orientación de las fibras musculares, las ondas sónicas y la turbulencia que siguen al proyectil, y principalmente la posición y el ángulo de incidencia del mismo sobre la piel, además de otros factores. (Mota, 2013).

En casos típicos de heridas de bala, es decir cuando un OE es provocado por un proyectil que ha incidido perpendicularmente al plano dérmico, con ojiva aguzada y sobre zona de tejido blando, el OE será circular, de diámetro menor al del proyectil y estará rodeado de una zona circular de características contuso-equimótico-escoriativas cuya mayor intensidad estará ubicada junto al borde del orificio atenuándose paulatinamente a medida que se aleja de él. Esta zona se conoce con el nombre de “zona de enjugamiento” o “Anillo de Fisch” y estará presente siempre en los OE de proyectiles de armas de fuego. (Mota, 2013).

La forma (circular u ovoidal) y la centricidad del anillo de Fisch con respecto al OE, proporcionará indicios concretos respecto del ángulo de incidencia del proyectil sobre el plano de la piel. Se debe consignar asimismo que si bien generalmente un proyectil produce un único OE, pueden eventualmente presentarse más de uno, en aquellos casos en que el proyectil atraviese, por ejemplo, primero un miembro para luego ingresar en otra parte del cuerpo.

Cabe destacar que así como el diámetro del OE no suministra elementos de juicio que permitan determinar por sí sólo el calibre del arma utilizada, la forma del anillo de fisch no aporta elementos que permitan inferir por sí mismo la dirección de procedencia del disparo ya que sólo indicará el ángulo de incidencia del mismo sobre la piel. Para vislumbrar la posición del ángulo de tiro es necesario saber la posición exacta del cuerpo en el momento de recibir el disparo (inclinación, orientación del plano receptor, movimientos, etc.), para poder emitir una opinión al respecto. (Mota, 2013).

Con relación al orificio de salida del proyectil (OS), debemos consignar que el mismo no siempre está presente en casos de heridas con armas de fuego, sino que sólo se le halla en aquellos casos en que el proyectil atravesó totalmente los tejidos saliendo después del cuerpo. El OS responde en general a una herida de contornos irregulares y aún desgarrados, de diámetro normalmente superior al OE y al proyectil mismo, variando su aspecto con las alternativas que haya sufrido el proyectil en su trayectoria interna, pudiendo egresar acompañado de esquirlas óseas o del mismo proyectil, en posición

lateral, deformado por choque contra huesos, etc. Cabe acotar que el OS carece de Anillo de Fisch, tatuaje y ahumamiento, (términos que revisaremos más adelante) los que son característicos del OE. (Ortíz, 2011).

El orificio de entrada (OE).

El OE presenta diversas características generales y especiales. Las generales son producidas por la acción mecánica del proyectil al penetrar la piel, conformadas por el anillo de enjugamiento y el anillo de contusión. El diámetro del orificio puede ser igual, mayor, o menor que el calibre real del proyectil que lo haya producido. Su tamaño dependerá de varios factores, como la forma y velocidad de traslación y rotación del proyectil, de la posición y ángulo de llegada, de las características de la zona particular de la piel donde impactó, del espesor del penículo subcutáneo, de la profundidad de las estructuras óseas, así como de las posibles deformaciones previas que haya adquirido la bala con respecto a su forma original. (Vidrio, 2007).

En impactos perpendiculares de proyectiles ojivales, generalmente el orificio de entrada se presenta de forma circular, con un diámetro un tanto inferior al calibre de la bala. Si el proyectil penetra en forma tangencial, es decir con un arribo prácticamente rectilíneo, producirá una excoriación alargada, equimosis y herida en canal. Si la penetración fuese oblicua, podría originar un orificio semilunar. En ocasiones la bala puede entrar por una cavidad orgánica, como los conductos auditivos, las fosas nasales, la boca, etcétera, en cuyo caso el orificio de entrada es denominado natural. (Vidrio, 2007).

Estudio de la zona que rodea al OE.

El OE de un proyectil de arma de fuego posee diversas características gracias a la presencia de elementos distintivos que brindan aspectos de juicio para determinar la distancia a que ha sido efectuado el disparo. En este trabajo mencionaré los más distintivos.

a) El anillo de enjugamiento.

Este anillo generalmente circunda el orificio de entrada, presentando la forma de un ribete negruzco. Al salir del cañón, el proyectil lo hace arrastrando consigo las partículas de grasa, aceite y polvo que acarrea durante su recorrido en el interior del cañón. Cuando el proyectil atraviesa la piel estas impurezas quedan en su parte exterior, formando el anillo. La ausencia de este anillo se puede deber a que la bala previamente haya perforado prendas de vestir, en las que se depositan tales elementos. (Locles, 2000).

b) El anillo de contusión.

Este efecto también es conocido como cintilla erosiva, la que se observa como una zona rojiza de piel desposeída de epidermis, situada por fuera del anillo de enjugamiento, originada por la fricción que ejerce la bala sobre los límites del orificio al perforar la piel. En heridas recientes, el anillo erosivo presenta regularmente una apariencia húmeda y carnosa, posteriormente se deshidrata y se observa como una costra de aspecto pardo rojiza de sangre coagulada.

La forma de este anillo puede ser concéntrico o excéntrico, dependiendo del ángulo de llegada del proyectil. El primero, se produce por disparos perpendiculares, y el segundo, por disparos oblicuos, con la zona más amplia sobre el costado de su llegada. En disparos a corta distancia se produce ahumamiento en este anillo. La conjunción del anillo de enjugamiento y contusión, constituyen lo que se denomina como la zona de fish. (Vidrio, 2007).

c) La zona de fish.

Este anillo se conforma alrededor del OE, el que puede presentarse completo o incompleto, formado, de adentro hacia afuera, por un aro de enjugamiento y un aro erosivo, pero sin determinar la distancia del disparo. Su presencia es producto del efecto de la penetración del proyectil y las características zonales de la piel, que debido a su elasticidad tiende a ejercer resistencia al paso de la bala. Cuando el proyectil empuja la piel, ésta se comprime y se amolda a su forma (como dedo en guante), la que se estira y contusiona excoriándose, para finalmente perforar la piel y penetrar. Este mecanismo produce un anillo en la piel, que limpia al proyectil de las impurezas que éste porta sobre la superficie cilíndrica, las que previamente fueron depositadas por la fricción ejercida por la bala en las paredes del ánima del cañón. (Vidrio, 2007).

Características especiales del orificio de entrada.

A causa de la gran importancia del estudio del OE, existen nomenclaturas particulares para designar las características especiales de cada posible caso.

a) Orificio por disparo de contacto.

Se produce cuando la boca del cañón se encuentra apoyada sobre la superficie de la piel. El contacto puede ser firme, laxo, angulado o incompleto.

Contacto firme: Resulta de apoyar y presionar toda la superficie de la boca del cañón sobre la piel, provocando que los bordes del orificio de entrada se presenten chamuscados, por efecto de los gases calientes y ennegrecidos por el humo.

Contacto laxo: Se observa cuando la boca del cañón hace ligero contacto sobre la piel, quedando un espacio suficiente para permitir el depósito de humo alrededor del orificio de entrada.

Contacto angulado: Es el resultante de apoyar en ángulo agudo la boca del cañón sobre la piel, observando que en el espacio libre del contacto del arma, se presenta fuga de gases y de humo, produciendo quemaduras y ahumamiento excéntrico en torno al orificio de entrada.

Contacto incompleto: Se presenta cuando la boca del cañón se apoya sobre regiones del cuerpo que no son planas, por lo que se produce cierta separación entre el cañón y la piel, formando una zona chamuscada y ennegrecida alrededor del orificio de entrada. (Ortíz, 2011).

En disparos de contacto se pueden presentar otros dos fenómenos conocidos como el signo de Puppe-Wergarther y el signo de orificio de boca de mina de Hofmann. El primero corresponde al estampado reproducido por el contorno de la boca del cañón sobre la piel, el que se observa como un anillo concéntrico en relación con el OE y de color rojo pálido; inclusive se pueden imprimir otras estructuras que conforman la parte frontal del arma, como el botón obturador del resorte recuperador de las pistolas, o la cabeza de la baqueta de los revólveres que disponen de este mecanismo con la misma longitud del cañón. (Vidrio, 2007).

Respecto de tal fenómeno se desprenden dos explicaciones, una refiere que este signo se debe al calentamiento del cañón como consecuencia del disparo, y la otra señala que es debido a la onda explosiva que se introduce por debajo de la piel, obligándola a presionar fuerte e instantáneamente la boca del cañón del arma.

El signo de boca de mina o golpe de mina de Hofmann, corresponde al efecto desgarrado de bordes irregulares y ennegrecidos del OE, producido por el disparo de contacto sobre la cabeza de una persona, considerando que en la zona existe piel resistente que se encuentra muy adherida al hueso, por lo cual los gases expulsados por la boca del cañón y que acompañan al proyectil se introducen por debajo de la piel, produciendo desgarros en la búsqueda de una salida, originando también ennegrecimiento del área. (Vidrio, 2007).

El efecto de Hoffman es característico de los disparos efectuados con la boca de fuego del arma apoyada sobre la piel, disparos conocidos con el nombre de “disparo abocado” o “disparo a boca de jarro” (términos que estudiaremos más adelante) y que se produce cuando inmediatamente debajo de la piel se encuentra un plano óseo, tal como es el caso de los disparos suicidas en la zona parietal. Aquí los gases producto de la deflagración de la pólvora se

expanden entre el tejido subcutáneo y el hueso, produciendo su desprendimiento, aglobamiento y posterior estallido hacia afuera, lo que provoca una herida de características irregulares, con desgarramientos radiales y labios invertidos, como si la explosión hubiese sucedido dentro del cuerpo, característica de donde deriva el nombre de “Golpe de Mina”. (Mota, 2013).

En lo que se refiere al cráneo, se observa el signo de Benassi, que consiste en un anillo negro de humo en el epicráneo y alrededor del OE, reportado por Julio Benassi en 1924. Cuando debajo de los tejidos subcutáneos se encuentra un plano óseo (como en los huesos del cráneo o en los omóplatos), los disparos abocados hacen que los gases y humos producto de la deflagración de la pólvora ingresen junto con el proyectil dentro de la herida. Mientras los gases producen los efectos del “Golpe de Mina de Hoffman” explicado precedentemente, los humos se depositan en los planos subcutáneos, particularmente en el hueso, ennegreciéndolo alrededor del orificio producido por el proyectil, lo que constituye una característica probatoria de disparo abocado (distancia 0) conocido con el nombre de “signo de Benassi”. Este mismo efecto se puede producir entre la prenda de vestir y la piel, quedando depositado el humo en forma de 2 o 3 círculos concéntricos denominados “Escarapela de Simonín”. (Vidrio, 2007).

b) Orificio por disparo a corta distancia.

Resulta cuando la boca del cañón del arma no hace contacto con la piel, pero donde la distancia entre ambos es reducida, lo que impide una dispersión sustancial de los granos de pólvora y del humo que acompañan al proyectil, los que se manifiestan en tres efectos alrededor del OE, conocidos como la zona del tatuaje, la zona del ahumamiento y la de quemaduras o socarrada. (Ortíz, 2011).

La zona de tatuaje: Está constituida por los granos de pólvora que se expulsan por la boca del cañón del arma y que se incrustan en la piel. Estas lesiones no varían ni desaparecen con el lavado, las que en disparos perpendiculares se observan como puntos oscuros que se van impactando conforme vaya disminuyendo la distancia de los disparos. La presencia de un diámetro mayor y cada vez menos intenso del tatuaje, es indicativo de que se incrementa la distancia entre cañón y piel, hasta una separación máxima donde éste ya no aparece. (Vidrio, 2007)

El tatuaje verdadero o simplemente “tatuaje” está constituido por partículas consistentes en granos semi-combustionados y no combustionados de pólvora y partículas metálicas desprendidas del propio proyectil, como consecuencia de la acción abrasiva ocasionada por el rozamiento a que fuera sometido dentro del ánima del cañón. Estas partículas poseen mayor masa que las del

humo y por lo tanto mayor energía cinética, por lo que alcanzan mayores distancias de la boca de fuego. (Ortíz, 2011).

Como poseen energía cinética relativamente alta, las partículas de pólvora y metálicas que constituyen el tatuaje llegan a introducirse ligeramente en la piel de la zona inmediata al OE, por lo que a diferencia del ahumamiento, no pueden ser removidas como mencionamos por medio de un lavado superficial. El tatuaje está entonces constituido por partículas de pólvora y partículas metálicas, poseyendo estas últimas mayor masa y por lo tanto mayor energía cinética que las primeras lo que les permite alcanzar mayores distancias, por lo que el tatuaje puede subclasificarse en:

Tatuaje de partículas de pólvora y metálicas: Donde están presentes los dos elementos y que para las armas de puño promedio suelen alcanzar distancias del orden de los 50 cm. de la boca de fuego, variando ésta con el calibre del arma, el largo del cañón, el tipo y cantidad de carga balística (pólvora) que contenga el cartucho utilizado, etc.

Tatuaje de partículas metálicas: En donde sólo se encuentran restos metálicos desprendidos del mismo proyectil como consecuencia de la abrasión sufrida por éste dentro del cañón y que, al poseer mayor masa que las de pólvora, les permite alcanzar mayor distancia. En las armas de puño normales pueden llegar hasta un metro.

Los restos de fulminante: En la actualidad, el adelanto de los medios tecnológicos permite efectuar la búsqueda y reconocimiento de restos de fulminante, en especial plomo y bario, con equipos de máxima precisión, tal como el microscopio electrónico de barrido, el que permite detectar restos de estos compuestos, que también acompañan al proyectil en su trayectoria, hasta una distancia de aproximadamente tres metros para las armas de puño. (Rodríguez, 2014).

Debe consignarse que las partículas, humos y gases que egresan de la boca de fuego del arma acompañando al proyectil, se dispersan formando espacialmente una figura de tipo cónica, con el vértice dirigido a la boca del cañón del arma y con la base en la superficie receptora del disparo, por lo que a mayor distancia, será mayor el área abarcada por el tatuaje y menor la densidad de sus partículas y a menor distancia, será menor el área de tatuaje y mayor su densidad. Esta característica permitiría en principio, efectuar estudios comparativos entre el “dibujo” que presenta la zona de tatuaje en un caso determinado y los que se logran efectuando disparos experimentales con el arma cuestionada, utilizando cartuchos de idénticas características que el usado en el hecho. El estudio comparativo del “dibujo” formado por estos tatuajes permitirá establecer la distancia a que fuera disparada el arma con una aproximación de +/- 5 cm. (Mota, 2013).

La zona de ahumamiento: Corresponde al área cercana al orificio de entrada, donde se depositan los residuos de negro humo. El ahumamiento o falso tatuaje está constituido por depósitos superficiales de humos procedentes de la deflagración de la pólvora, la que al no constituir una combustión completa, es decir una reacción de óxido-reducción químicamente balanceada, desprende humos (carbón finamente dividido) que son expulsados por la boca del cañón del arma a continuación del proyectil. Debido a su escasa masa los humos poseen muy poca energía cinética razón por la cual alcanzan una distancia que difícilmente supera los 10 cm. de la boca de fuego, por lo que sólo estarán presentes en casos de disparos a muy corta distancia, conocidos popularmente con el nombre de “tiro a quemarropa”. (Ortíz, 2011).

Generalmente la zona de ahumamiento presenta, además del depósito superficial de humos al que debe su nombre, signos de fenómenos térmicos característicos, provocados por la elevada temperatura a la que egresan los gases producto de la deflagración de la pólvora, los que pueden llegar a “chamuscarse” el vello o el cabello que rodea al OE o a producir efectos característicos sobre las fibras textiles que constituyen las prendas de vestir. El depósito de humos puede ser fácilmente removido con una limpieza ligera y superficial utilizando agua jabonosa, lo que diferencia este “falso tatuaje” con el tatuaje verdadero. (Mota, 2013).

La zona con quemaduras o socarrada: Corresponde al área de la piel afectada con los gases calientes que acompañan al proyectil. Las heridas producidas a corta distancia por proyectiles de alta velocidad, pueden producir efectos con características muy diferentes que las balas de baja velocidad. Los proyectiles de alto poder obligadamente ocasionan daños mucho más severos, entre ellos, estallamiento de órganos blandos, como el estómago y pulmones, así como enormes cavidades en tejidos musculares, sin que para ello se produzca una deformación o fragmentación de bala. (Rodríguez, 2014).

Tales efectos son atribuidos a la onda de choque que corresponde a un factor que se presenta, con mayor magnitud, en los proyectiles puntiagudos de alta velocidad, aun cuando el peso y el diámetro de las balas sean reducidos. Las secuelas de cavernación y explosión en cuerpos humanos se deben a la forma y densidad de onda de choque. Este proceso se suscita cuando el proyectil perfora la piel y cede buena parte fuerza viva, sin otra consecuencia mayor que la perforación de los tejidos u órganos que la bala encuentra a su paso, no obstante, la súbita y brutal modificación de la onda de choque, que viaja con la bala, producirá un efecto de cavernación que puede variar de acuerdo con la densidad de los órganos afectados. (Amor, 2016).

El efecto de la onda de choque se presenta como un cono muy agudo y de gran cohesión, que se comporta como un proyectil secundario. De tal forma que en el instante del impacto, la disminución drástica de la velocidad del

proyector provocará que la onda de choque actúe en forma explosiva, produciendo cavidades de grandes proporciones. Este factor se debe tomar muy en cuenta cuando se tienen que evaluar las heridas en cuerpos que hayan sido objeto de disparos de balas de alta velocidad. (Ortíz, 2011).

c) El orificio por disparo a distancia intermedia.

Este tipo de orificios resultan cuando la boca del cañón presenta una mayor separación con respecto a la piel, lo que permite la formación del tatuaje de pólvora por fuera de la zona socarrada, donde posiblemente se conformen las zonas de tatuaje, de ahumamiento y de quemaduras, dentro de las que destaca el tatuaje de pólvora, que corresponde a lesiones alrededor del OE en forma de puntos de color rojizo pardo, o de color naranja, y que de acuerdo con el ángulo del disparo pueden ser simétricos o asimétricos. La presencia de este fenómeno da lugar a un origen antemortem, indicando que la víctima se encontraba con vida en el momento que recibió el impacto. (Amor, 2016).

En el caso en el que el tatuaje se observe en tono amarillento o grisáceo, puede ser indicativo de que el disparo fue ocasionado después de que la víctima ya se encontraba sin vida. Se dice que la distancia mínima a partir de la cual se presenta el tatuaje es de un centímetro entre la piel y la boca del cañón del arma. Si la pólvora genera mayor cantidad de derivados nitrados, entonces incrementará la proporción del tatuaje. Algunas pólvoras producen grandes llamaradas, en consecuencia generan quemaduras y tatuajes más intensos, que inclusive chamuscaran bellos y cabellos de la víctima, así como la posible combustión de las prendas de vestir de materiales inflamables. (Vidrio, 2007).

d) El orificio por disparos a larga distancia.

En este tipo de orificios se observan básicamente los signos correspondientes a los efectos mecánicos propios de las balas al perforar la piel. Uno de estos efectos es conocido como el rebote, cuyos orificios tienden a presentarse más grandes, de forma irregular y con bordes rasgados, considerando la deformación previa que hayan sufrido las balas al chocar con otras estructuras, y que dependiendo de la dureza de éstas pueden provocar deformaciones ligeras o excesivas, ya sea de su punta o de su costado cilíndrico, lo que a su vez origina una reducción de su energía remanente, al igual que la inestabilidad del eje de su trayectoria original, ocasionando posibles heridas penetrantes, pero poco profundas, lo cual se puede determinar al examinar los restos del proyectil desalojado del cuerpo. (Vidrio, 2007).

Los efectos de rebote de los proyectiles se reflejan en una fragmentación de los mismos, cuyas proporciones de metal pueden proyectarse de manera imprevisible, los que al alcanzar a una persona producirán heridas secundarias, las que difieren en apariencia del tatuaje de pólvora, pues tales

lesiones se observarán más grandes e irregulares y su profundidad dependerá de la velocidad de proyección que los fragmentos adquieran. (Amor, 2016).

Términos usados para describir la distancia de disparo.

La distancia a la que se efectuara el disparo de un arma de fuego puede ser estimada con cierto grado de precisión conforme las características del OE y su zona inmediata, conforme los conceptos ya revisados en el presente trabajo y que nos permitiría en principio establecer cuatro principales situaciones distintas y perfectamente definidas. A continuación las expresaré brevemente.

Disparo a boca de jarro: También denominado “disparo con arma abocada”, realizado con la boca de fuego del arma apoyada sobre la superficie corporal, es decir que corresponde a distancia cero.

Disparo a quemarropa: Es el disparo efectuado dentro de la distancia máxima de alcance de la lengua de fuego que sale de la boca del cañón del arma luego de expulsado el proyectil y que en armas de puño puede alcanzar distancias no mayores a los 10 cm., dependiendo ésta fundamentalmente del largo del cañón del arma considerada y de la carga balística del cartucho utilizado. (Rodríguez, 2014).

Disparos a corta distancia: Los que a su vez se pueden dividir en dos:

a) *Disparos a muy corta distancia:* Presenta tatuaje de restos de pólvora no combustionada o semi-combustionada, los que en forma de “granos” van a incrustarse superficialmente en la piel o a adherirse a las prendas de vestir, encontrándose presente también el tatuaje metálico, es decir el producido por las partículas metálicas desprendidas del propio proyectil y, como es norma, el Halo de Fisch. (Rodríguez, 2014).

El tatuaje, debido a los restos de pólvora, se manifiesta tratando adecuadamente la zona agredida con reactivo de Griess (Alfa-naftil amina y ácido sulfanílico en medio acético), el que pone en evidencia los granos de pólvora mediante la formación de puntos de color rojo debido a la reacción cromática de este reactivo con los radicales nitritos. El tatuaje debido a restos metálicos se manifiesta mediante tratamiento de la zona agredida con agua oxigenada, ácido acético y haciendo pasar por último una corriente de ácido sulfhídrico, produciéndose puntos negros correspondiente a los sulfuros de los metales (plomo y cobre principalmente), que constituyen las partículas desprendidas del proyectil. Normalmente estas reacciones no se efectúan directamente sobre la piel de la víctima ni sobre las prendas de vestir, sino que se transfieren las sustancias allí presentes a una hoja de papel fotográfico

previamente fijado y lavado al que se adhieren gracias a la capa de gelatina que recubre una de sus caras. (Amor, 2016).

En la actualidad se ha reemplazado la identificación de los nitritos (NO_3^-) por otras sustancias características de los disparos, tales como el Bario (Ba), el Antimonio (Sn) y el Plomo (Pb), utilizándose para ello métodos instrumentales tales como la espectrofotometría de absorción atómica o la investigación mediante el uso de microscopía electrónica de barrido, aplicándose como alternativa ante la falta de instrumental adecuado el análisis químico convencional mediante el uso de reactivos a base de Rodisonato de Sodio. (Mota, 2013).

b) Disparos a media distancia: En ellos sólo se encuentra presente el tatuaje metálico cuya caracterización se determina a través de la aplicación de técnicas y procedimientos químicos adecuados que nos permitan reconocer la presencia de radicales nitratos, nitritos, plomo, cobre, antimonio y bario provenientes de pólvora, proyectil y fulminante.

Disparos a larga distancia: Se denominan así en Balística Forense a todos aquellos que superen la distancia máxima a la que es posible producir tatuaje, ya sea metálico o de pólvora, y donde el único signo presente lo constituye el halo de fisch, lo que en armas de puño normales, implica distancias superiores a las consignadas.

Heridas en el cráneo: En estos casos es definitivo tomar en cuenta el criterio del “cono truncado”, es decir, cuando un proyectil atraviesa los huesos del cráneo, de las dos tablas del diploe craneal, la segunda atravesada presenta un orificio mayor y más irregular, por lo que el trayecto en cada orificio presenta la forma de un cono truncado con la base más ancha en la tabla atravesada en segundo lugar. Por lo tanto, el orificio de entrada tendrá las siguientes características: es más pequeño en la tabla externa que la interna. Por otro lado, el de salida estará representado de la siguiente manera: es más reducido y regular en la tabla interna que en la externa. (González, Balística Forense, 2001).

Cavidades de las heridas de bala.

Para comprender mejor los efectos producidos por los proyectiles es importante describir los fenómenos que se originan cuando las balas disparadas afectan el cuerpo de un ser humano, para posteriormente tratar de explicar las teorías que existen con respecto a los efectos balísticos relacionados con las cavidades de los impactos formados en la piel a la hora de la colisión. Expresaré las teorías y los conceptos más significativos en este plano de estudio de la balística de efectos.

a) La cavidad de las heridas.

Cavidad permanente: Es el hueco definitivo dejado por la bala en su trayecto sobre la estructura penetrada, originado por los efectos de su desplazamiento y corte, lo cual depende de su plano o configuración, y que puede provocar un orificio de grandes dimensiones o apenas notable.

Cavidad temporal: Es el límite del desplazamiento pasajero de los tejidos por el efecto hidrostático (presión del fluido) durante el desplazamiento de la bala en el interior del cuerpo, considerando para ello la elasticidad propia de los tejidos, los que dependen de los factores relativos a su densidad, gravedad específica y cohesividad tisular interna, lo que determina la cantidad de tejido que se comprime por efecto de la cantidad de energía cinética liberada por la bala. (Amor, 2016).

En el momento en el que un proyectil penetra el cuerpo e inicia su trayecto dentro del mismo, súbitamente libera parte de su energía en forma radiada, originando instantáneamente una cavidad temporal de mayores dimensiones que el propio diámetro de la bala. El tiempo que transcurre desde su acelerado ensanchamiento hasta su colapso, es apenas de 5 a 10 milisegundos, experimentando durante ese lapso pulsaciones y contracciones de los tejidos, que gradualmente se van reduciendo hasta desaparecer, dejando un trayecto permanente. (Vidrio, 2007).

La cavidad temporal es un fenómeno importante para establecer las dimensiones reales de la herida, considerando que los proyectiles de baja velocidad ordinariamente producen un trayecto llano, con reducida distensión lateral de los tejidos adyacentes y de limitada magnitud, debido a la acelerada liberación de su energía. Contrariamente sucede con las balas de alta velocidad las que al penetrar en un cuerpo producen un efecto que podría denominarse como de irrigación de cola, consistente en un desplazamiento sustancial del tejido penetrado hacia la parte posterior del trayecto de la bala. Este efecto se refleja en una cavidad temporal con un diámetro hasta treinta veces mayor que el calibre del proyectil, debido a que libera mayor cantidad de su energía remanente. (Ortíz, 2011).

La dimensión de la cavidad temporal y el trayecto permanente de la bala no se establecen exclusivamente por la cantidad de energía liberada por el proyectil, sino que también intervienen la densidad y la cohesión elástica de los tejidos perforados, considerando que la pérdida de energía no es uniforme a lo largo del trayecto de la bala, presentándose variaciones de acuerdo con los cambios en la densidad de los tejidos penetrados los cuales repercuten en el aumento de las dimensiones de la cavidad permanente.

Cuando la bala atraviesa un cuerpo humano, únicamente parte de su energía se emplea para formar la herida, pues si el proyectil sale, continúa con cierta velocidad y energía residual, y dependiendo de su cantidad puede representar serios riesgos para otras estructuras posteriores. (Vidrio, 2007).

Teorías de los efectos de penetración.

Teoría de la transferencia de energía: En ésta se especula acerca de que a mayor cantidad de energía cinética liberada por una bala durante su penetración la incapacitación de una persona será más efectiva. En función de esta teoría una bala que no atraviesa el objetivo depositará en la persona toda esa energía cinética remanente, lo que produce mayor daño, a diferencia de cuando la bala hubiera atravesado el cuerpo, pues al atravesarlo, la bala todavía posee un velocidad residual, por lo que no deposita el total de su energía cinética. (Ortíz, 2011).

Esta teoría favorece a los proyectiles de peso ligero pero de alta velocidad, que transfieren una gran energía cinética sobre los cuerpos y que por su estilo de proyectil no atraviesan el blanco, tales como los de punta hueca o expansivos.

Teoría de la cavidad temporal: En ésta se considera que cuanto mayor sea la cavidad temporal generada instantáneamente tras el impacto y penetración de la bala más efectiva debe ser. Los argumentos se derivan de las mediciones observadas en la gelatina balística (materia donde se hacen disparos de prueba) y documentales mediante fotografías de alta velocidad, que demostraban cómo la bala desplazaba más lejos el simulador del tejido, generando con ello un mayor daño traumático. (Amor, 2016).

Teoría de los grandes orificios: El criterio médico la considera como la más acertada, dado que los orificios de grandes dimensiones generan un daño más permanente y en consecuencia una expulsión más rápida de sangre en la víctima, porque el mayor corte del tejido, desgarramiento o destrucción generado por el trayecto de la bala será mejor y superiores serán los efectos traumáticos, estableciendo con ello el rendimiento más eficaz que puede tener una bala, con una mayor probabilidad de incapacitación permanente para una persona. (Vidrio, 2007).

Por lo tanto, de manera empírica se puede llegar a la conclusión de que el volumen de la cavidad de una herida varía en relación directa con la velocidad a la que se desplace el proyectil al momento del efecto penetrante, independientemente de la forma del mismo. Si la bala quedara alojada en el cuerpo de la víctima es indiscutible que liberará toda su energía cinética, por lo que la forma del proyectil resulta importante sólo hasta el grado de que su

configuración sirve para mantenerlo dentro del cuerpo, previniendo su salida por la parte opuesta. Cualquiera que sea el caso, los proyectiles producirán efectos primarios y secundarios en la víctima, los que deberán ser analizados de acuerdo con su magnitud. (Vidrio, 2007).

Características adicionales del arribo de la bala.

Al ser disparada, la bala pierde movimiento de rotación sobre su eje por lo tanto pierde estabilidad y dirección, lo que puede derivar en un avance lateral o descompuesto y no con la ojiva hacia delante, por lo tanto el proyectil puede entrar de cualquier forma en el cuerpo de la víctima, menos de punta. También la bala puede perder gran parte de la energía cinética en su recorrido de manera que pueden ocurrir posibles escenarios atípicos:

a) *No entrar*, por no poder vencer la resistencia de la epidermis de la víctima o la ropa o algo duro que casualmente se interponga en el camino (han ocurrido casos donde el proyectil impacta en la placa del policía y no logra penetrar). En estas particularidades podemos decir desde el punto de vista de la física que la reacción es mayor a la de la acción, es decir, que la resistencia es mayor a la fuerza viva del proyectil.

b) *Penetrar* hasta las capas subcutáneas y quedar depositada, es decir que las capas musculares o circunstancialmente un hueso a flor de piel le ofrecen resistencia mayor que la fuerza viva en ese punto. (Rodríguez, 2014).

Clasificación de las trayectorias en balística de efectos.

El trayecto: Se denomina trayecto al recorrido que efectúa la bala dentro del cuerpo de la víctima. El trayecto no necesariamente sigue una línea recta que enlaza al OE con el OS cuando este último exista, ya que de no estar presente se relaciona con la ubicación donde queda alojado el proyectil. El trayecto de las balas puede presentar dos variantes, las que se conocen como desviación y migración. (Gordilla, 2012).

La desviación corresponde a las variaciones del trayecto original de una bala, producidas por impactos secundarios sobre estructuras interiores de mayor consistencia o densidad, como las costillas y las vértebras. Las desviaciones son ocasionadas por el ángulo de llegada del proyectil, la baja velocidad del mismo y la cantidad de energía liberada que lo obligan a cambiar de rumbo. En proyectiles de alta velocidad se reduce la posibilidad de que se produzcan desviaciones sustanciales; caso contrario es el que se produce con las balas de baja velocidad y energía, las que tienden a desviarse por la resistencia que ofrecen los órganos de mayor densidad. (Vidrio, 2007).

La migración corresponde al desplazamiento pasivo de la bala por efectos del torrente sanguíneo que puede trasladar al proyectil a otro lugar, cercano o distante de su posición inicial, sin que para ello se presente una velocidad remanente. Este caso lo estudiaremos más a detalle a continuación.

Una vez que ingresa el proyectil en el cuerpo es indispensable determinar su trayectoria y cómo influye en los efectos producidos en la zona de impacto, para ello mencionaré las trayectorias más destacadas en la balística de efectos:

a) *Limpia*: También llamada rectilínea, es la trayectoria que se produce cuando la bala traspasa el cuerpo conservando su recorrido en la misma dirección en que lo comenzó, sin desviarse por choques con ningún cuerpo óseo o duro que la haga variar el mismo.

b) *Quebrada recta*: Cuando la bala cambia su recorrido normal, por chocar con algún hueso o cuerpo duro, pero después de cada choque continúa su trayectoria de manera libre, hasta salir o chocar nuevamente.

c) *Quebrada Circundante*: La trayectoria que recibe esta denominación es la cumplida por aquellos proyectiles que luego de penetrar en el organismo, al chocar contra un plano cutáneo u óseo curvo, no siguen su propia dirección sino que la modifican en función de dicho plano curvo, como la calota craneana, costillas, pelvis, en los choques óseos y cuero cabelludo, cuello, músculos intercostales, abdomen, en los músculos cutáneos, etcétera; para luego abandonar el cuerpo por el OS. (Rodríguez, 2014).

d) *Incompleta*: Llamada también ciega, es la trayectoria que se lleva a cabo dentro del organismo de la víctima sin contar en su finalización con orificio de salida, es decir que el proyectil se deposita en el interior. De acuerdo con dicho recorrido interno, las trayectorias incompletas se pueden dividir en:

Incompleta Recta. Esta trayectoria es la que efectúa una bala que penetra y continúa su trayectoria normal; suele suceder en los casos en que al ingresar en el organismo, la bala posee poca fuerza viva, que es la capacidad que tiene para penetrar con base en la distancia recorrida antes del impacto.

Incompleta Migradora. En realidad la trayectoria no es la migradora, sino que los migradores son los proyectiles, es decir, son los que penetran el organismo, alcanzan la cavidad cardiaca o uno de los segmentos aórticos, siendo arrastrados por el torrente sanguíneo hasta una zona más o menos alejada del punto de ingreso. Cuando siguen por la aorta abdominal penetran con mayor frecuencia en la arteria ilíaca izquierda, por estar dispuesta más verticalmente que la opuesta. (Ortíz, 2011).

Los migradores son así denominados, porque se desplazan pasivamente a través de cavidades y conductos de los propios órganos, es el caso de los proyectiles que, penetrando en el corazón, o gruesos vasos arteriales o venosos, son arrastrados a distancia del lugar de impacto por acción de la circulación sanguínea; lo más frecuente es el trayecto ventrículo izquierdo. (Locles, 2000).

En los casos de proyectiles que no tienen orificio de salida, resulta conveniente detectarlos mediante radiografías, pero en muchas oportunidades puede ocurrir que aniden en un coágulo o bien en varios, los cuales se encuentran ocupando las grandes cavidades, pasando entonces desapercibidos. Si bien éste es un tema casi exclusivo del médico legista, en el caso de la participación del perito balístico, en la autopsia primera o en caso de una nueva que se realice tiempo después, si no tiene orificio de salida y no se encontró el proyectil, se debe considerar esa posibilidad, aunque no sea la única, ya que también pudo haber salido por una cavidad natural (boca, vagina, conducto auditivo, etcétera) o se pudo haber fragmentado. (Locles, 2000).

Orificio de salida (OS).

Este orificio presentará una dimensión generalmente mayor al OE, dependiendo del calibre y la forma del proyectil. Se caracteriza por sus bordes evertidos y por la falta de los respectivos anillos de enjugamiento y contusión, al igual que los signos del tatuaje, debido a que esos rasgos quedan plasmados en el OE.

El incremento de su tamaño se debe, entre otras cosas, a la inestabilidad que adquiere el proyectil durante su trayecto por estructuras orgánicas más densas, lo que puede provocar que la bala salga de costado. Otro factor corresponde a las deformaciones previas que haya sufrido la bala durante su trayecto en el interior del cuerpo. Cabe destacar que los proyectiles de punta blanda o hueca precisamente poseen la función de deformarse para provocar heridas de mayores dimensiones, liberando mayor energía. (Ortíz, 2011).

También existe la posibilidad de un orificio de salida de menor tamaño que el de entrada, lo cual sucedería cuando la bala haya penetrado inicialmente en ángulo agudo y haya salido en ángulo recto, o bien, cuando los dos orificios sean de un tamaño similar, debido a que los tejidos perforados sean de análoga densidad, o que la forma del proyectil no sufra modificaciones y que la energía de éste no sea demasiado grande. (Vidrio, 2007).

El OS es considerado en muchos estudios como el punto final del segmento que define la trayectoria médico-legal de la balística de efectos y a partir de

ahí inicia el tramo del estudio de la balística final, que analiza lo ocurrido subsecuentemente con la bala después de abandonar el cuerpo.

Generalmente existe un OS por un OE, sin embargo hay casos excepcionales, donde puede existir más de un OS por un solo OE, éstos se producen entre otros por la fragmentación del proyectil en el interior, por la separación en el interior del cuerpo de la camisa y el núcleo del proyectil y cuando ambos hayan salido por distintos lugares. Este mismo efecto ocurre con los proyectiles deformables donde las balas intencionalmente se fabrican para que se fragmenten. Existen también casos de pseudo OS que se producen cuando la bala arrastra esquirlas óseas o trozos metálicos de instrumentos o alhajas destruidos en la trayectoria. (Ortíz, 2011).

ANÁLISIS DE CASOS DE HERIDAS DE BALA EN EL CRÁNEO.

Ahora que poseemos un panorama general de los estudios balísticos disertaré sobre dos casos reales de herida de bala en el cráneo. Para ello ocuparé la terminología y metodología anteriormente descritas en la balística de efectos. Los casos presentarán tanto radiografías e imágenes de los daños producidos en las víctimas. Antes de revisar los casos me parece pertinente agregar una introducción sobre el tema específico de las heridas craneales y ejemplos de radiografías extraídas sobre casos de proyectiles en el cráneo.

Las heridas de bala penetrantes en el sistema nervioso central han sido desde sus inicios un reto para el manejo médico dada su complejidad. Aún en la época actual, con el sinnúmero de adelantos tecnológicos y el conocimiento cada vez más preciso de la fisionomía craneal y las ciencias de la balística, se continúan generando diversas controversias en casos de homicidio en los juicios de todo el mundo. Desafortunadamente, la multitud de conflictos armados y la fácil disponibilidad de armas en el mercado actual provocan que este tipo de lesiones sean frecuentes en la práctica diaria del médico forense y criminólogo. Con la finalidad de acercarnos de forma sencilla al universo de la balística forense en este estudio se han proporcionado los conceptos más generales para poder hacer al final una disertación propia sobre casos específicos de heridas de bala en el cráneo descritas a través de radiografías.

Como referencia histórica, en el antiguo Egipto ya describían el tratamiento de las heridas penetrantes en el cráneo, como se puede evidenciar en el papiro de Edwin Smith, aunque este tratamiento se reducía a las laceraciones de cuero cabelludo y fracturas, considerando las heridas penetrantes y con exposición de duramadre o material encefálico como incurable y mortal. En este mismo documento se hacen descripciones de lesiones medulares y se habla de paraplejia y cuadriplejia, con instrucciones precisas sobre su examen, pero advirtiendo sobre su mal pronóstico. (Luque, 2007).

En las guerras de la antigüedad, si bien no se utilizaron armas de fuego, si se usaron otra serie de elementos contundentes y cortocontundentes que ocasionaban heridas craneoencefálicas y raquimedulares penetrantes severas, tales como piedras, maderas y elementos metálicos; basta por ejemplo, rememorar las batallas de Maratón, Termopilas y Plataca entre griegos y persas, en las cuales perecieron unos 70.000 soldados. Homero, en la *Iliada*, describe la “explosión en dos” de un guerrero griego durante el sitio a Troya, al ser golpeado en el cráneo por una roca. Lo mismo puede decirse de las guerras de Alejandro Magno, las de los Sarracenos y las Cruzadas. (Luque, 2007).

En la antigua Roma, Galeno efectuaba algunos experimentos con animales pequeños como cerdos, monos y cabras a quienes realizaba incisiones medulares, estableciendo patrones de lesiones. De sus observaciones dedujo que las incisiones transversales interrumpían la función medular, mientras que las incisiones longitudinales, sólo lo hacían parcialmente. (Luque, 2007).

En cuanto a la investigación para tratar heridas craneoencefálicas los antiguos egipcios estaban familiarizados con las cirugías a cráneo abierto, aunque sólo utilizaban un limitado número de herramientas y hacían esquirlectomias. Celso, anota que un paciente con trauma de cráneo quien permanece inconsciente, seguramente tiene una fractura. Hipócrates, a su vez, opta por recomendar una apertura quirúrgica cercana al sitio de la herida y de la fractura de cráneo. Galeno, considera necesario utilizar tinta para delimitar la extensión de la fractura, evitando en todo caso la apertura de la duramadre, y las complicaciones derivadas de ello. (Luque, 2007).

En la actualidad es evidentemente alta la mortalidad en casos de herida de proyectil. A causa de la alta velocidad de las balas modernas es ínfimo el porcentaje de supervivencia en una lesión de arma de fuego en el cráneo. En estos casos los protocolos médicos se centran en la reanimación, el control de la hemorragia y el control de la presión intracraneal elevada. Si se logra mantener signos vitales se considera la viabilidad de una cirugía, en cuyo caso se prevén complicaciones por infecciones mediante el desbridamiento extensivo de todos los tejidos contaminados, macerados o isquémicos. Así mismo los médicos cirujanos se ocupan de la preservación del tejido nervioso a través de la prevención de las cicatrices meningo-cerebrales y también de la restauración de estructuras anatómicas a través del sello hermético de la duramadre y las capas del cuero cabelludo. Los procedimientos quirúrgicos incluyen riego, desbridamiento de tejidos desvitalizados y eliminación de hueso impulsado y fragmentos de bala accesibles. (Miranda, 2016).

EJEMPLOS RODIOLÓGICOS DE HERIDAS CRANEALES

A continuación expongo seis ejemplos breves sobre heridas en el cráneo. Cada ejemplo es explicado de manera concisa, como se haría en un análisis preliminar en cualquier caso criminológico.



Figura 1. Radiografía de fractura superficial. (Fuente Propia).

(Figura 1). Fractura superficial del borde superior del cráneo frontosagital, producida por el disparo de un arma de fuego al ras de la calota.



Figura 2. Radiografía de pérdida maxilar y mandibular. *(Fuente Propia).*

(Figura 2). Se observa pérdida de tejido óseo a consecuencia de una lesión producida por un arma de fuego (escopeta). Como resultado del disparo se produjo la pérdida maxilar y mandibular. Es notorio que el calibre del arma es de potencia superior a 10.



Figura 3. Radiografía de ojiva incrustada. *(Fuente Propia).*

(Figura 3). Herida de bala sin OS. Se aprecia el OE además de la dispersión de las esquirlas. La ojiva del proyectil quedó incrustada y se alojó en la base media del cráneo.



Figura 4. Radiografía de OE en zona frontal. *(Fuente Propia).*

(Figura 4). OE por proyectil de arma de fuego en la zona media de la región frontal del cráneo. Se perciben esquirlas de hueso.

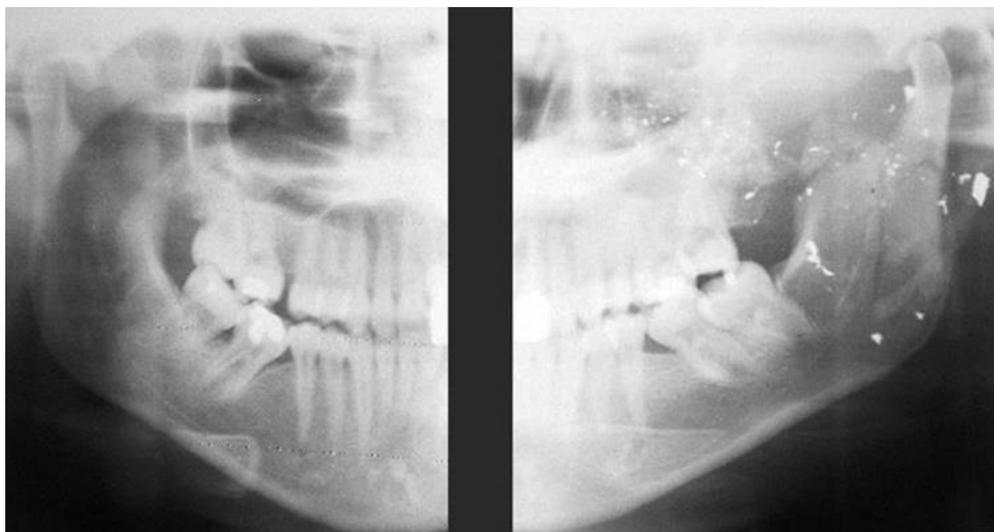


Figura 5. Radiografía de comparación de mandíbula. *(Fuente Propia).*

(Figura 5). Comparación de mandíbula donde se aprecia del lado derecho de la imagen la lesión del proyectil. Se advierte la presencia de esquirlas, además de la ojiva.



Figura 6. Radiografía de OE natural. (Fuente Propia).

(Figura 6). Se observa el proyectil fragmentado en dos partes y alojado en la primera vértebra cervical, (disparo rasante con OE por cavidad oral "OE natural").

HERIDA DE BALA EN LA ZONA DEL HUESO CIGOMÁTICO.

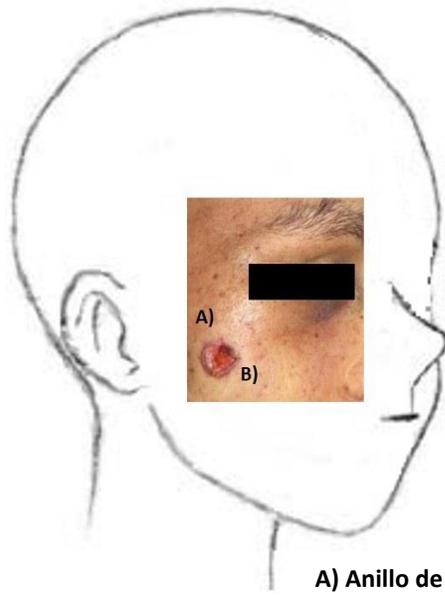
Hombre de mediana edad recibe disparo con fusil deportivo de baja velocidad. El proyectil penetró por la región del hueso cigomático atravesando la fosa infratemporal, músculo y huesos temporales, hasta ingresar a la cavidad craneana. Gracias a que el proyectil era de baja velocidad no logró atravesar por completo el cráneo por lo cual no existe OS. *Figura 7.* (Loyda, 2015).



Figura 7. Radiografía de alojamiento de bala. (Loyda, 2015)

En cuanto al OE podemos observar el ángulo de incidencia el cual se halla de forma ascendente perpendicular, lo que podría indicar la inclinación en la que penetró la bala. Esta inclinación produjo elongación de los tejidos de forma más recargada hacia la parte inferior del OE. De manera que el Anillo de Fish en esta herida está aparentemente incompleto, el anillo de Fish, como expliqué anteriormente se produce por el efecto de la bala al perforar la piel y romper la resistencia que ofrece. En este caso se observa la dimensión menor del proyectil y el OE prácticamente circular gracias a que la bala era de forma esférica. Este efecto se puede puntualizar como el anillo de contusión y lo observamos en este caso como la zona rojiza desposeída de epidermis. *Figura 8.* (Loyda, 2015).

Con respecto a la distancia, gracias a la ausencia de tatuaje y de ahumamiento, podemos especular que se trata de un disparo a amplia distancia. El breve recorrido interno reforzaría el hecho de que se disparó a una distancia lejana.



A) Anillo de Fish.
B) Anillo de Contusión.

Figura 8. Orificio de entrada. (Loyda, 2015)

HERIDA EN LA ZONA FRONTAL DEL CRÁNEO.

En el siguiente ejemplo el proyectil penetró por la zona frontal para posteriormente salir por la zona parietal. La bala provocó fisuras severas a lo largo del cráneo en zonas como la escama del frontal, el arco superciliar, glabella, bordes supraorbitarios y en la parte posterior provoco fisuras en la zona del ala mayor del esfenoides, así como en las líneas temporales superior e inferior. *Figura 9.* (Orlando, 2011).

En este caso se aprecia un OS de grandes proporciones ya que al ingresar la bala genera un efecto de presión en el cráneo que es liberada cuando se forma el OS, otorgándole mayores dimensiones. Lo que se define como el cono truncado de Bonnet, es decir, se aprecia dicho efecto ya que la bala atravesó de lado a lado generando el cono al atravesar las dos tablas del diploe craneal. *Figura 10.* (Orlando, 2011).

Es notorio que el disparo fue a corta distancia y especularíamos en un contacto laxo, y quizás a boca de jarro, ya que se observa un ligero contacto del cañón provocando el signo de Benassi, puesto que observamos la zona del OE ligeramente ennegrecida por los humos depositados en los planos subcutáneos. El signo más relevante hallado en este caso es el de Puppe por el color rojo pálido de la herida en la piel, además de los bordes irregulares del OE. Lo único que no se halla tan visible es el signo de Hoffman, porque la estructura del OE no se asemeja a la explosión de mina, característico en este tipo de lesiones en el cráneo a corta distancia. En cuanto al tatuaje, debido a lo adherido de la piel sobre el cráneo, es muy poco visible, pero si se puede notar cerca del OE.

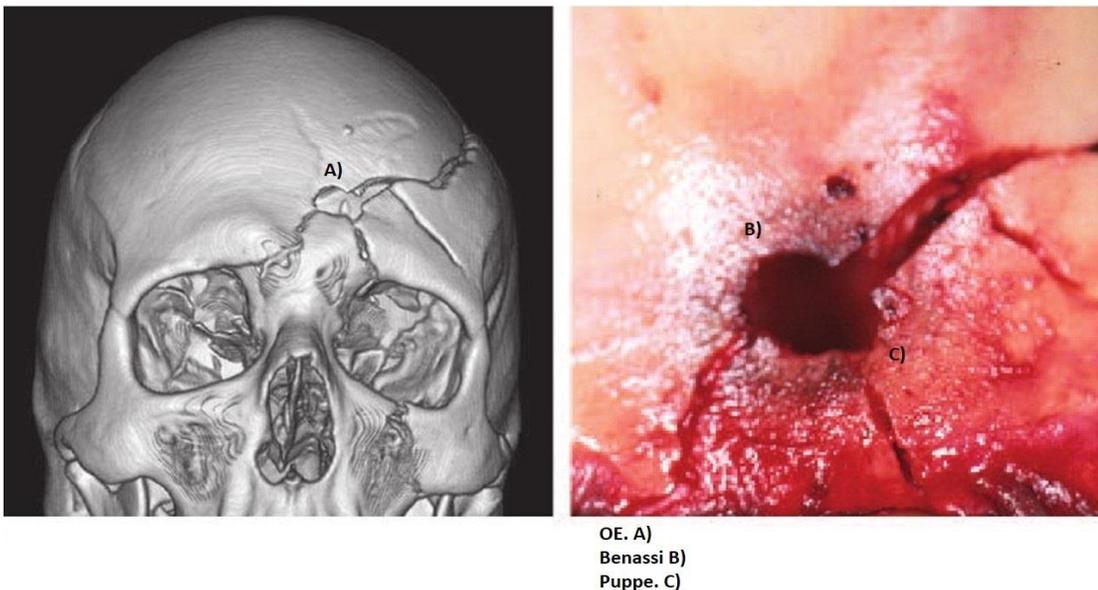
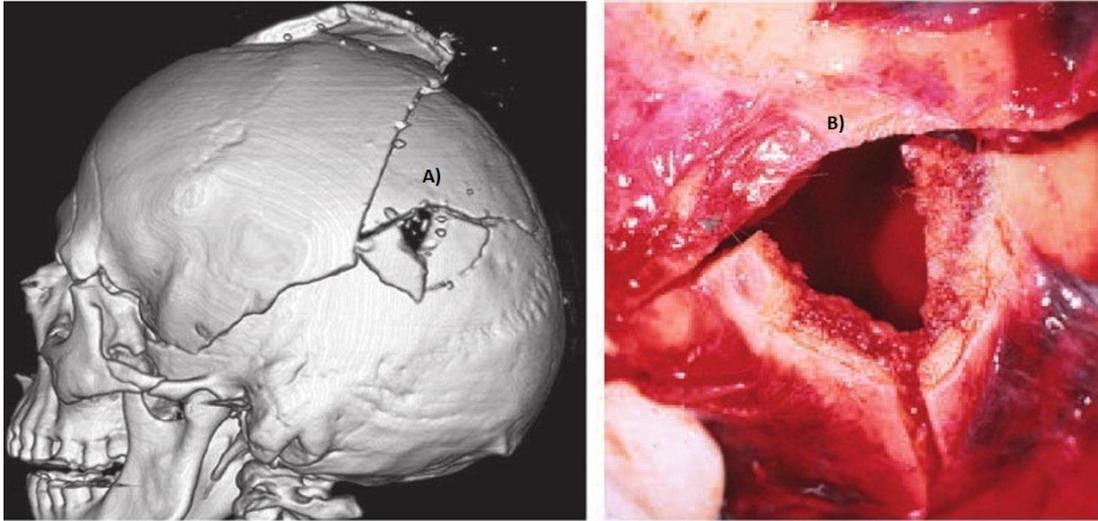


Figura 9. Trauma craneofacial por arma de fuego (OE). (Orlando, 2011)



OS. A)
Efecto de cono truncado de
Bonnet B)

Figura 10. Trauma craneofacial por arma de fuego (OS). (Orlando, 2011)

CONCLUSIONES.

A través del presente trabajo de diplomado, he logrado vislumbrar no sólo la trascendencia de la criminalística, sino su profusa complejidad. La admiración hacia el esfuerzo pericial donde se dilucidan casos de heridas de bala en el cráneo es inevitable, ya que se debe poseer un gran cúmulo de conocimientos de diversas ramas científicas, así como un dotado sentido de la perspicacia y notoria inteligencia.

Con base en la información que reuní para estructurar el presente trabajo, me parece evidente que es necesario el continuo perfeccionamiento de esta ciencia, no porque actualmente carezca de avance en nuestro país, sino porque la resolución de los análisis que se arrojan en los estudios periciales no pueden permitirse ningún tipo de error, ya que está en juego la libertad o la impunidad de los presuntos actores.

De manera que ningún esfuerzo será en vano cuando se haga para desarrollar mejores tecnologías y estudios que refuercen y nutran a la ciencia de la balística forense así como a la radiología. Ramas cuyos alcances son apasionantes, por ejemplo lo que se está llevando a cabo en países con relación a la virtopsia, la cual será seguramente y gracias a los adelantos tecnológicos, la forma titular de hacer autopsias sin necesidad de invadir en ningún sentido el cuerpo humano.

Espero con franqueza que estas ciencias sigan creciendo de forma que sea mínima la posibilidad de diagnosticar errores, para que en el mundo sea primordial la justicia y la verdad, que es por lo que tanto se esfuerzan los genuinos balistas y radiólogos forenses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Accorinti, J. P. (2014). Sistema Automatizado de Identificación Balística. *La Justicia en la Mano de la Ciencia*, 37-42.
- Aguilar, M. (2013). La prueba en el Sistema Acusatorio. *Revista Penal, Instituto Nacional de Ciencias Penales*, 34-41.
- Amor, F. G. (17 de Marzo de 2016). *Criminalmente.es*. Obtenido de Balística Forense, los Efectos del Disparo: criminalmente.es/2016/03/17/balistica-Forense-los-residuos-de-disparo/
- Céspedes, A. P. (2012). Virtopsy. Radiology in Forensic Medicine. *Salud Areandina*, 17.
- Frommer, H. H. (2011). *Radiología Dental*. México D.F.: El Manual Moderno.
- Goldstein, R. (1993). *Diccionario de Derecho Penal y Criminología*. Buenos Aires Argentina: Astrea.
- González, L. R. (1984). *Manual de Introducción a la Criminalística*. México D.F.: Porrúa.
- González, L. R. (2001). *Balística Forense*. México D.F.: Porrúa.
- González, S. A. (2011). Radiología Forense. *Revista de la Sociedad española de Enfermería Radiológica*, 114-123.
- Gordilla, O. E. (2012). Semiótica del Impacto Balístico. *Revista de Criminología y Seguridad*, 53-57.
- Locles, R. J. (2000). *Balística y Pericia*. Buenos Aires Argentina: Ediciones La Rocca.
- Loyda, P. (2015). *Radiografía de alojamiento de bala*. Obtenido de Imagen de Radiografía Ilustración: Recuperado de <http://hoy.com.do/job-recibio-heridas-de-bala-mortales-por-necesidad/>
- Luque, J. E. (2007). Heridas Penetrantes por Arma de Fuego en el Sistema Nervioso Central. *Revista Med*, 134-137.
- Martins, B. L. (2016). Radiología Forense. *Multidisciplinary Scientific Journal*, 455-462.

- Miranda, H. R. (2016). Craniocerebral Gunshot Injuries; A Review of the Current Literature. *Bull Emerg Trauma*, 65–74.
- Monasterios, A. (Lunes 21 de Noviembre de 2011). *Radiología Legal*. Obtenido de Radiología Legal: Computarizada y Convencional: <http://radiologia-legal.blogspot.mx/2011/11/radiologia-legal-computarizada-y.html>
- Mota, J. M. (21 de Febreo de 2013). *Criminalística.mx*. Obtenido de Balística Forense: <http://criminalistica.mx/areas-forenses/balistica/1440-balistica-forense31>
- O'Brien, R. C. (1985). *Radiología dental*. México D.F.: Nueva Editorial Interamericana.
- Orlando, L. (2011). *Autopsia Virtual*. Obtenido de Imagen Ilustración: Recuperado de http://internoscirugiafsfb.blogspot.mx/2011_04_01_archive.html
- Ortíz, J. J. (2011). Balística Forense, Inicios. *Dialnet*, 6-11.
- Quiñones, J. M. (2005). Virtopsia, Aplicaciones de un nuevo método de inspección no invasiva en ciencias forenses. *Cuadernos de Medicina Forense*, 34-47.
- Ramírez, A. I. (1990). *Identificación Forense*. México D.F.: Trillas.
- Rodriguez, J. S. (2014). La Balística Forense, Una Rama Escencial de la Criminalística. *Mundo Forense*, 12-34.
- Vidrio, O. C. (2007). *Balística Técnica y Forense*. Buenos Aires Argentina: Ediciones La Rocca.