



Tesis de Grado

**Análisis de traumatismos
craneales peri-mortem
producidos por armas contusas
y su correspondencia con el
elemento lesivo**

Autores

Atencio Delgado, Oriana A.
Esposito Bustingorry, Martina A.

Tutores

Lic. Gacio, Hernán
Mg. Jessurum, Paula

Octubre 2022

Universidad FASTA
Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales
Licenciatura en Criminalística

Agradecimientos

A Dios, por darnos la fortaleza y el impulso para no rendirnos y superar cada obstáculo. A nuestras familias por su acompañamiento incondicional, comprensión y apoyo constante; y a todas las personas que de alguna u otra forma nos acompañaron a lo largo de estos años de estudio. A nuestros profesores y tutores, por su dedicación pedagógica y asesoramiento en este proceso. A la Universidad FASTA, a sus directores y todo su personal, por ser parte de nuestra formación profesional.

Dedicatoria

A nuestras familias, con mucho amor y cariño; les dedicamos todo nuestro esfuerzo y trabajo para la realización de esta tesis.

Contenido

Resumen	5
Palabras clave	5
Abstract	6
Keywords	6
Introducción	7
Marco teórico	9
Capítulo I	9
La antropología forense.....	9
La patología forense	9
Principio de transferencia	11
Capítulo II	12
Traumas por arma contundente	12
Clasificación de los traumatismos	14
Bordes y lascas.....	16
Momento de los traumatismos	17
Capítulo III	19
Tejidos	19
El cráneo	20
Cuero cabelludo	22
Capítulo V	24
Tipos de traumas contundentes en el cráneo	24
La biomecánica en la producción de fractura por objeto contundente	24
Variables que intervienen en el trauma óseo craneal.....	28
Capítulo IV	32
El cerdo como modelo análogo para investigaciones.....	32
Piel.....	32
Cráneo.....	33
Hipótesis de investigación	35

Metodología de investigación	36
Análisis de datos	44
Discusión de resultados	59
Conclusión	62
Bibliografía	65

Resumen

Los traumas óseos por elementos contundentes localizados en el cráneo constituyen un tema de interés médico - antropológico forense, en especial cuando se trata de muertes homicidas, considerando que entre las cuestiones que se deben resolver están el mecanismo de producción de las lesiones, el origen del traumatismo y el tipo de instrumento utilizado, lo que a su vez contribuye al esclarecimiento de las circunstancias del hecho.

Las lesiones en el cráneo se consideran una de las causas mecánicas de muerte más común; sin embargo, el análisis forense de estos traumatismos sigue siendo una tarea difícil y desafiante, principalmente en ausencia de tejido blando. A este problema se suma la escasez de conocimiento sobre este tipo de traumas contundentes en la literatura en general, y particularmente en Argentina. En este sentido surge la necesidad de investigar los factores que influyen en la producción de traumatismos óseos en la cabeza humana por instrumentos contundentes, teniendo en cuenta que un mismo mecanismo puede causar distintos patrones de lesión traumática.

En razón de lo antes expuesto, la finalidad de esta investigación fue generar conocimientos sobre la interpretación de lesiones óseas halladas en el cráneo producidas por armas contundentes.

Se comprobó que hay una gran variedad de factores que influyen en el proceso de producción de lesiones traumáticas en el cráneo y sus características morfológicas resultantes, por lo que la determinación del objeto causante a partir del examen extrínseco de las mismas es una tarea compleja que no siempre tendrá resultados certeros, siendo mayormente un examen orientativo. Por lo tanto, será necesario considerar otro tipo de vestigios de interés forense que permitan establecer una relación herida-instrumento-autor.

Palabras clave

Antropología forense – patología forense – traumatismo craneal – peri-mortem – arma contusa

Abstract

Bone trauma in the cranium caused by blunt objects is a subject of forensic medical - anthropological interest, especially in the case of homicide, considering that, among the questions to solve, are the mechanism of production of the injuries, the origin of the trauma and the type of instrument used, given that this information is essential for the elucidation of the circumstances of the crime.

Cranium injuries are considered one of the most common mechanic causes of death; however, forensic analysis of these traumatisms remains a difficult and challenging task, especially when there's absence of soft tissue. This issue is aggravated by the lack of knowledge on these types of blunt traumas in literature in general, and, particularly, in Argentina. Therefore, the need arises to look into the factors that participate in the production of bone trauma in the human head due to blunt objects, since equal mechanisms can produce different traumatic injury patterns.

Considering this, the purpose of this study was to generate knowledge regarding the interpretation of bone injury in the cranium caused by blunt weapons.

It was proved that there's a great variety of factors that intercede in the production of traumatic injuries in the cranium and their resulting morphological characteristics, thus the determination of the causing object from the extrinsic examination of these characteristics is a complex task that will not always grant reliable results, remaining mainly as an indicative exam. Therefore, its necessary to take into account other traces of forensic interest that could help establish an injury-object-author relationship.

Keywords

Forensic anthropology – forensic pathology – cranial traumatism – peri - mortem – blunt weapon

Introducción

Es frecuente encontrar en escenarios forenses restos óseos que presentan traumas que provienen de diversas situaciones violentas, siendo los traumas por arma contundente el tipo de lesión más habitual, especialmente aquellos localizados en la cabeza. El estudio de estos traumas y la identificación de vinculaciones entre arma y lesión son de vital importancia para la determinación de la causa de muerte, la reconstrucción de la mecánica de las lesiones y la dinámica de los hechos.

La finalidad de este trabajo es averiguar de qué manera las características morfológicas de los traumas producidos en el cráneo por el impacto de objetos contundentes permiten inferir el elemento causante.

El objetivo principal consiste en evaluar la manera en que las características morfológicas que presentan los traumas producidos en el cráneo por el impacto con objetos contundentes permiten inferir el elemento causante. Para ello se definieron objetivos específicos como analizar y describir este tipo de características, detallar las características físicas que presentan los distintos objetos contundentes utilizados para generar estas lesiones, y valorar la correspondencia entre el trauma producido en el cráneo y el elemento causante a partir de las características morfológicas analizadas. Estos objetivos se plantean debido a que, acorde a la bibliografía consultada, cuando los objetos contusos impactan en el cráneo con una fuerza violenta, producen traumas óseos que podrían asociarse con el elemento que los causa.

Para cumplir con estos objetivos, en el mes de octubre se realizó la experimentación correspondiente impactando una, dos y cuatro veces, con cuatro elementos contundentes diferentes (martillo, caño, palo y roca), sobre 13 mitades de cabezas de cerdos domésticos, a las cuales se les dejó una fina capa de tejido blando para representar el cuero cabelludo humano. Para sostenerlas, se diseñó un andamiaje que simulaba el sostén de la columna vertebral con el fin de recrear una escena de conflicto interpersonal. Luego, se retiró el poco tejido blando de las mismas para observar si se generaron lesiones sobre el tejido óseo y describir sus características morfológicas, con el objetivo de determinar si era posible asociarlas con un elemento efector.

Existen una gran variedad de estudios sobre el trauma cráneo-encefálico como tal, principalmente en el ámbito internacional; sin embargo, no es la temática más habitual, especialmente en el área de las ciencias forenses. Los autores que han estudiado el tema, indican que es necesario continuar profundizando sobre el mismo ya que los resultados de sus experimentaciones son dispares y, como consecuencia, originan nuevas preguntas.

La investigación y el estudio de este tipo de traumatismos en restos óseos permitirán abordar con mayor profundidad contextos forenses caracterizados por situaciones de violencia interpersonal, ya que escasean los estudios sobre lesiones traumáticas en el cráneo de origen peri-mortem, causadas por objetos contundentes en ocasión de un ataque violento, que se enfoquen en sus características a nivel óseo, con el objetivo de brindar un marco de referencia para la identificación del elemento utilizado al momento de reconstruir los hechos en un contexto de investigación forense. Por lo tanto, el desarrollo de este trabajo aporta y suma conocimiento a la escasa literatura existente en general y, específicamente en Argentina, sobre las lesiones óseas contundentes.

Marco teórico

Capítulo I

La antropología forense

La antropología forense es la disciplina que aplica los conocimientos de la antropología física y de la arqueología a la recolección y el análisis de la evidencia legal (Burns, 2007). A su vez, complementa el trabajo de la medicina, en particular de la patología forense, en la investigación médico legal de la muerte, en casos complejos por el estado y condición de los cadáveres en avanzada descomposición, carbonización, desmembración, fragmentación y esqueletización (Morales et al., 2009).

Esta disciplina constituye un factor esencial del equipo interdisciplinario que debe establecer causa y manera de muerte, diagnosticar alteraciones esqueléticas (traumas óseos y osteopatologías), identificar los cadáveres y partes humanas (determinación de sexo, patrón racial, edad, estatura, características individualizantes, lateralidad, entre otras) y estimar el intervalo transcurrido desde la muerte del individuo hasta su hallazgo.

La recuperación, descripción e identificación de restos esqueléticos humanos es la principal labor de los antropólogos forenses, por lo que contribuyen en las siguientes tareas enumeradas por Lagunas Rodríguez (2006):

- 1) establecer la identidad de la víctima,
- 2) determinar los mecanismos de la causa de la muerte y,
- 3) documentar los eventos antes, durante y posteriores a la muerte de un individuo que falleció de manera repentina, inusual, violenta o por causas o circunstancias inexplicables.

De esta manera, el antropólogo forense se convierte en un colaborador necesario para la medicina legal en el examen y la descripción de traumas esqueléticos y su posible asociación con la causa de la muerte, especialmente en ausencia de tejido blando.

La patología forense

El trauma cráneo encefálico, o TCE, es una temática de gran relevancia dentro de las diversas áreas que abarca la medicina legal. En el contexto de la medicina clínica y la medicina del trabajo, la atención se centra en las lesiones como tal, así como sus secuelas; para la psiquiatría forense, la importancia reside en las alteraciones del estado mental que pueden desarrollarse como consecuencia de este tipo de lesión, y en la patología forense, interesan sus implicancias en la producción de la muerte (Vargas Sanabria, 2014).

En primera instancia, no se debe pasar por alto la definición de medicina legal, la cual es brindada por Patitó (2000), entendiéndose por ésta la especialidad médica que trata de dar respuesta a las cuestiones médicas que se plantean en el ámbito del derecho, por lo tanto, se constituye como el punto de contacto entre la biología y el derecho.

Dentro de los contenidos que integran el conocimiento médico legal se encuentra la patología forense, que, como afirma Patitó, estudia las cuestiones relativas a las lesiones y la muerte. Específicamente, su tarea es determinar la causa, mecanismo y circunstancias de las muertes que se encuentran en investigación judicial.

La principal herramienta de la patología forense es la autopsia médico-legal, durante la cual se examina un cadáver o las partes de él, en cualquiera de sus etapas (fresco, en descomposición o afectado por fenómenos cadavéricos conservadores como la adipocira, la momificación o la congelación), pudiendo estar, a su vez, entero, fragmentado o reducido a restos óseos.

En los casos en que el cadáver esté completo se realizarán los pasos propios de la técnica, el examen externo, en el que se describen los datos que identifican al occiso, los fenómenos cadavéricos y lesiones; y el examen interno, que se realiza mediante la apertura completa del cadáver, describiendo cavidades y órganos en el estado que se encuentren, consignando todas las lesiones que se hallen, así como las alteraciones propias de los procesos patológicos de origen natural (Patitó, 2000).

Cuando el cadáver se encuentra esqueletizado o sólo hay partes corporales disponibles para su examen, resulta complicado realizar la autopsia médico-legal, por lo tanto, el médico necesitará la ayuda de un antropólogo forense, quien se encargará del estudio y descripción de los traumas esqueléticos y su posible asociación con la causa de la muerte.

La autopsia médico-legal contribuye a establecer la identidad de la persona muerta y la identidad de los responsables, el tiempo de muerte y las circunstancias en que ocurrió la lesión fatal, la causa de la muerte, el arma o agente responsable de la lesión y los factores que pudieron haber predisuesto a la víctima a la lesión, o que modificaron sus efectos (Morales et al., 2009).

En muchos casos de traumatismo craneo-encefálico, la víctima mostrará múltiples daños debido al impacto de una fuerza contundente. Es el trabajo del examinador médico y del investigador forense determinar si todas las heridas fueron hechas por el mismo objeto, y cuál de ellas ocurrió primero, como se afirma en un artículo del sitio Officer.com (s.f.).

El cumplimiento de estos objetivos, a grandes rasgos, procede mediante el análisis de la información ofrecida por la historia alrededor de los hechos, el estudio de la escena del crimen

(lugar en donde se encuentra el cadáver y sitios asociados como aquel en donde se planeó un crimen o donde se descartaron los elementos usados para cometerlo), y el examen del cadáver o partes de él.

El contar con los conocimientos adecuados al momento de abordar una autopsia que involucre un trauma craneo encefálico, permite contar con el criterio médico legal para decidir sobre las pruebas complementarias que deben ordenarse, recalca Vargas Sanabria (2014). Una de las más importantes es el estudio neuropatológico, el cual, una vez obtenido, debe ser interpretado debidamente para determinar en qué manera los datos obtenidos contribuyen a los diagnósticos finales del examen de autopsia médico legal, tendientes a determinar el mecanismo fisiopatológico, causa y manera de muerte, siendo estos dos últimos objetivos esenciales en el proceso de auxiliar a una adecuada administración de justicia.

Principio de transferencia

Cuando se emplea un instrumento lesivo en un hecho criminal, se genera un intercambio de materiales entre éste y la víctima, tanto de material biológico y/o no biológico de la persona al objeto, como de material no biológico del elemento a la persona.

Esta transferencia de indicios es la que les otorga a los investigadores forenses la información necesaria para relacionar el objeto lesivo con un sospechoso y un lugar determinados. Negre Muñoz et al. (2013) destacan la necesidad de buscar la mayor cantidad de indicios posible al momento de investigar un caso de traumatismo craneo-encefálico, ya que el modo en que se genera cada lesión varía, y es el conjunto del estudio de las heridas y el análisis de evidencias de interés forense, el que ayudará a dilucidar el mecanismo de producción en cuestión.

Capítulo II

Traumas por arma contundente

Es frecuente encontrar en escenarios forenses restos óseos que presentan traumas provenientes de diversas situaciones violentas. Cuando estos traumas son producidos por un elemento duro de superficie roma que impacta cargado de fuerza sobre una determinada parte del cuerpo, se denominan traumas contundentes.

La clasificación de estos traumatismos depende del mecanismo que causó la lesión y, algunas veces, se reproduce la forma o las características del arma en el tejido blando y duro, lo que se conoce como lesión patrón, la cual permitirá establecer relaciones probabilísticas entre el trauma y el arma (Gómez Montero, 2010).

Generalmente en las muertes violentas por trauma contundente, los cuerpos son recuperados tiempo después, por lo que el tejido blando ya ha desaparecido, lo que implica trabajar sólo con restos óseos. En estos casos la presencia de una fractura ósea que presente una marca, impronta o forma que reproduzca un probable elemento causal, será de vital importancia para la determinación de la causa de muerte, la reconstrucción de la mecánica de las lesiones y la dinámica de los hechos.

La cantidad y los tipos de objetos que pueden llegar a ser usados en un crimen para ejercer un golpe contuso sobre una víctima, es prácticamente incalculable. Aun así, es posible distinguir ciertas características de la herida resultante que permiten intuir un grupo de posibles elementos, por lo que son denominadas “características de clase”. En ocasiones, un arma puede dejar detalles particulares sobre el hueso, debido a imperfecciones adquiridas durante el proceso de fabricación del objeto o daños causados sobre el mismo debido a su uso. Estas marcas son definidas como “características individuales” y permiten señalar un elemento en particular como el arma homicida (Officer.com, s.f.).

Mecanismo de producción de las lesiones

Los traumatismos pueden generarse, mayormente, por dos tipos de mecanismos, definidos según qué objeto se moviliza durante la colisión, ya sea la cabeza o el elemento lesivo (Vargas Sanabria, 2014). De esta manera se describen traumatismos con acción de objeto animado, y traumatismos sin acción de objeto animado, siendo los primeros de especial interés para el presente trabajo.

a. Traumatismos con acción de objeto animado

Generalmente son producidos por objetos obtusos o agudos, empleados para agredir. Los obtusos actúan transmitiendo la onda del golpe, que se expande desde el cráneo al cerebro,

y puede llegar a zonas más profundas dependiendo de su intensidad. En el caso de alcanzar el encéfalo, se afecta directamente a la conciencia.

En cuanto a objetos más pequeños o agudos, indica Vargas Sanabria (2014), éstos generan lesiones sobre el cuero cabelludo y el cráneo, pudiendo llegar a fracturarlo y hundirlo, a lo cual se añade un efecto compresivo sobre el cerebro. Si la intensidad del golpe es elevada, la onda que se genera daña la masa cerebral dando lugar a contusiones y hemorragias. Estas zonas, al mismo tiempo, se rodean rápidamente de edema cerebral y esto propicia un importante aumento de la presión intracraneana, que es la causa de una gran parte de las muertes por trauma cráneo encefálico.

Los traumatismos producidos por este tipo de objetos pueden clasificarse como depresivos, penetrantes o perforantes. Los depresivos, surgen cuando el objeto contuso genera una fractura con hundimiento de los huesos del cráneo, pero no ingresa a dicha cavidad. Los penetrantes atraviesan el cráneo, pero no lo traspasan. Aso Escario (2011) expone que, mientras más pequeña sea la superficie de contacto del objeto contuso, mayor será su capacidad de penetración; contrariamente, si la superficie de contacto es amplia, se producirán fracturas lineales, sin hundimientos craneales o heridas penetrantes. Finalmente, en las lesiones perforantes, el elemento entra y sale de la cavidad, siendo el caso de una bala o cualquier objeto que actúe como un proyectil.

Estos traumatismos son los que serán evaluados en el presente estudio, en función de que las heridas a analizar serán efectuadas por medio de la acción animada de distintos elementos.

b. Traumatismos sin acción de objeto animado

Esta categoría abarca lesiones del encéfalo que ocurren cuando la cabeza, estando animada por una determinada energía cinética, es bruscamente detenida debido al impacto contra un objeto u superficie fija, como el suelo, una pared, un mueble o durante una aceleración – desaceleración, como en el caso de los accidentes de tránsito (Vargas Sanabria, 2014).

Según la ubicación de las contusiones, pueden clasificarse como golpe, contragolpe y golpe intermedio, y esto permite conocer el mecanismo de producción de las mismas. Para distinguirlas, es necesario examinar el estado del cráneo y la piel en la zona de la contusión interna, así como la correlación con las características del trauma externo. En el caso de golpe, las lesiones se producen inmediatamente por debajo del impacto, mientras que las de golpe intermedio configuran hemorragias puntiformes ubicadas en zonas profundas del cerebro, frecuentemente los núcleos basales, por donde atraviesa la onda de energía. Las

lesiones de contragolpe se dan en puntos diametralmente opuestos a donde se produce el trauma.

Fisiopatología

El cráneo adulto es una cavidad rígida, que no tolera grandes cambios de presión, expone Vargas Sanabria (2014). Acorde a la doctrina Monro-Kelly, el volumen intra craneano de una persona adulta es de 1500 ml aproximadamente, de los cuales un 85 a 90% está constituido por el parénquima cerebral, 10% por la sangre y alrededor de un 3% por el líquido cefalorraquídeo. Un aumento de alguno de ellos implica, necesariamente, la reducción de los otros dos. Se denomina “compliance” o adaptabilidad ($c = \Delta v / \Delta p$) a la capacidad del contenido intra craneano de adaptarse al aumento de volumen de alguno de sus componentes. Esta adaptabilidad es mínima, por lo que todo aumento del volumen, como el que se da en el caso de fenómenos como edema o hematomas, producen grandes cambios de presión dentro del cráneo.

La muerte por traumatismo craneal, en particular, puede darse de manera inmediata o mediata (Ferranti et al., 2004). Se da de forma inmediata cuando los centros vitales cardíacos y respiratorio, localizados en el bulbo raquídeo, se ven lesionados, ya sea por una grave contusión o laceración cerebral, o por una fractura en la zona de la base del cráneo.

Por el contrario, puede ocurrir de forma mediata debido a la evolución natural o complicación intracraneana de la lesión (en ausencia de un tratamiento correcto), así como por heridas y/o complicaciones extracraneanas. La complicación intracraneal en cuestión es la hernia cerebral, y surge cuando la presión intracraneana aumenta, desplazando los tejidos cerebrales. Así, se producen daños progresivos sobre estos tejidos, avanzando hacia el tronco cerebral y derivando en la muerte (Ferranti et al., 2004).

Clasificación de los traumatismos

Las lesiones traumáticas pueden clasificarse atendiendo distintos criterios, señala López López (2014). Según el patrón de fragmentación, se distinguen dos grupos: las fracturas de fragmentación simple, que se manifiestan como una partición completa que separa al tejido óseo en dos partes, y las de fragmentación múltiple o conminutas, que también son completas, pero consisten en particiones de tres o más partes del hueso.

También se distinguen fracturas cerradas, cuando el hueso fracturado no alcanza a romper la piel, y abiertas, cuando los extremos del hueso roto rasgan los tejidos (Clinicainternacional.com.pe, s.f.).

A su vez, pueden ser diferenciadas en función de sus propiedades geométricas, localización, posición, mayor o menor alcance y su orientación relativa (López López, 2014). De esta manera, aparece una gran variedad de formas de fracturas, siendo las más usuales las radiales, lineares, concéntricas y estrelladas.

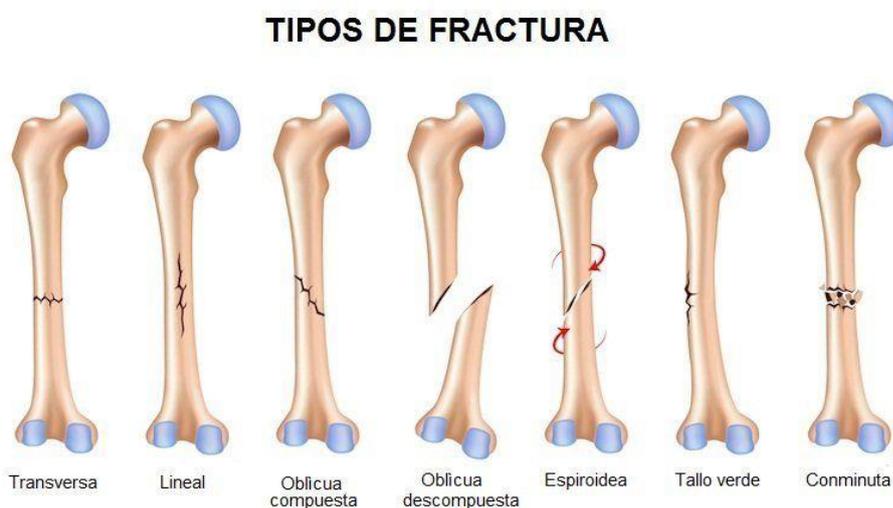


Ilustración 1. Tipos de fractura. Fuente: Google imágenes.

- Fracturas radiales: se originan en el punto de impacto, y van quedando cada vez más disipadas a través del hueso a medida que pierden fuerza.
- Fracturas lineales: aparecen en la zona periférica del punto en el que se aplica la fuerza, y se extienden longitudinalmente, en paralelo al axis del hueso. Se subdividen en transversales (que atraviesan el hueso), oblicuas y de forma de espiral.

En general, cuando la cabeza es impactada con, o impacta contra, un objeto con una superficie amplia y plana, el cráneo procederá a aplanarse, para amoldarse a la forma de la estructura contra la cual impactó (Di Maio, 2001). A medida que se aplanan y dobla hacia adentro, áreas adyacentes, pero más distantes, se doblan hacia afuera como parte del proceso de deformación, con un área central donde se produce la inflexión hacia adentro, y un área periférica que se flexiona hacia afuera, lo que puede ocurrir a una distancia considerable del punto de impacto.

Las fracturas lineales comienzan en la superficie externa del cráneo debido a las fuerzas producidas por la flexión hacia afuera del hueso, explica Di Maio (2001). Luego de curvarse hacia adentro, el cráneo busca volver a su configuración normal; a medida que la porción que se curvó hacia adentro realiza esta acción, la línea de fractura se extiende desde su sitio de

origen hacia el área de impacto, así como en la dirección opuesta. La línea de fractura puede o no alcanzar el punto de impacto e incluso puede continuar a través de ella.

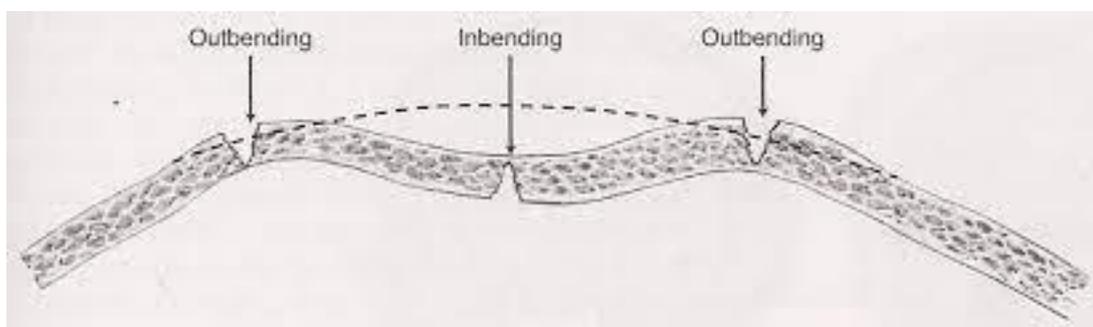


Ilustración 2. Mecanismo de producción de fracturas lineales. Fuente: Google imágenes.

Aso Escario asegura que se ha establecido como norma general que, para que ocurra una fractura lineal, se necesita una superficie de impacto de, al menos, 5 cm², ya que un área más pequeña da lugar a un hundimiento, es decir una fractura deprimida en lugar de una lineal.

- **Fracturas concéntricas:** se originan en el punto en el que se aplica la fuerza y aparecen radialmente, adquiriendo un aspecto similar al de una tela de araña, teniendo forma circular. Son útiles para hallar el punto de impacto, ya que el mismo se encuentra en su centro. Pueden resultar en la perforación del cráneo, por lo que algunos fragmentos de hueso quedan en el interior.

- **Fracturas estrelladas:** son causadas por cargas pesadas con una velocidad relativamente baja, y consisten en la irradiación de múltiples fracturas lineales que se originan cerca del punto de impacto.

Estos tipos de fracturas son más o menos usuales dependiendo de las propiedades del hueso al que afecten, su estado y posición anatómica (López López, 2014). Por ejemplo, en la bóveda, zona en la que se han realizado más estudios sobre los traumatismos peri-mortem, las fracturas más comunes son las radiales, lineares, conminutas, depresivas o con una proyección del hueso hacia el exterior. Las propiedades biomecánicas del hueso afectado y el tipo de fuerza que actúa sobre él, también influyen en el tipo de fracturación.

Bordes y lascas

Cuando el hueso recibe un impacto, se produce un hundimiento de la zona afectada, y los bordes circundantes tienden a elevarse debido a la deformación plástica del material óseo. A su vez, pueden presentarse lascas (pequeñas escamas de hueso) adheridas a estos bordes, lo cual es un indicativo de que el tejido probablemente se encontraba en estado fresco al momento de ser golpeado.

Momento de los traumatismos

Una de las preguntas que surge en los casos de trauma esquelético es el momento en que se produjo la lesión y si coincide con el momento de la muerte. Considerando esta cuestión, existen diferentes tipologías de traumatismos, que López López (2014) define de la siguiente manera:

➤ Traumatismos *ante-mortem*:

Son aquellos que se produjeron en un momento anterior y alejado de la muerte del individuo. Estos traumatismos se pueden diagnosticar por presentar signos de remodelación ósea, ya sea presentando porosidad cerca de los bordes fracturados, que los bordes cortantes se redondeen o presentando un callo en el hueso regenerado, en el lugar en el que los dos bordes se volvieron a fusionar. Estos signos indican que el hueso estaba en proceso de curación cuando ocurrió la muerte¹. Además, estos indicadores pueden reflejar no sólo lesiones traumáticas sino también afecciones como enfermedades infecciosas.

➤ Traumatismos *post-mortem*:

Son aquellos traumatismos producidos después de la defunción hasta la recuperación de los restos. Se pueden originar cuando el hueso se está comenzando a “secar”², lo cual producirá un patrón de fracturas de tipo linear o geométrico, generalmente con bordes afilados cuadrados en ángulo recto con la superficie del hueso y es probable que causen una fragmentación masiva del hueso seco. Además, pueden presentar alteraciones químicas, por ejemplo, cambios en la coloración en la zona fracturada (aparecen más claras) respecto a los demás restos. Estos son importantes para poder determinar qué les ocurrió a aquellos restos desde su enterramiento hasta su recuperación.

➤ Traumatismos *peri-mortem*:

Son los traumas que se producen en un momento muy cercano a la muerte de la persona, cuando el hueso se encuentra rodeado de músculos y piel (tejido blando), es decir, cuando su estado es “fresco”. Un traumatismo peri-mortem, por lo tanto, no será únicamente aquel que haya producido la muerte del individuo, sino que será también

¹ A pesar de que el proceso de curación comienza inmediatamente después de producida la lesión, tarda entre una a tres semanas en evidenciarse tales signos.

² Cuando comienza la fase de reducción esquelética del cadáver, en la cual los huesos pierden los tejidos blandos que los cubren, se emplea el término “hueso seco” para diferenciarlo del “hueso fresco”, en el que todavía se conservan los tejidos.

cualquier traumatismo que se produjera en ese momento, fuera o no el causante de la defunción.

Estos traumatismos se diagnostican por no presentar curación y poseen características únicas que incluyen bordes desiguales e irregulares y modelos de fracturación que siguen patrones específicos.

A menudo los traumatismos *peri-mortem* se confunden con otras dinámicas de fractura, por lo que, es necesario diferenciarlos de los *post-mortem*. A pesar de que ambos traumatismos tienen en común la ausencia de remodelación ósea, se pueden diferenciar por el patrón de fractura y el agente que los ocasiona, por lo que el antropólogo deberá conocer las diversas lesiones que se pueden encontrar y la forma en la que éstas afectan a los distintos huesos.

Capítulo III

Tejidos

Para comprender cómo se genera una lesión traumática, es necesario conocer la naturaleza del tejido óseo y sus principales características, ya que esto determina cómo responde el mismo ante la aplicación de una fuerza.

Un tejido es “un grupo de células estrechamente asociadas, de estructura similar y funciones relacionadas” (Burns, 2007). Los órganos del cuerpo se forman a partir de tejidos, habiendo cuatro tipos básicos: tejido epitelial, conjuntivo, muscular y nervioso. Siendo el hueso un tejido conjuntivo, es menester repasar sus propiedades, por lo que serán abordadas en este apartado.

El tejido conectivo

Los tejidos conectivos se conforman de células vivas rodeadas por una matriz; se diferencian según el tipo de fibra y el número de fibras en la matriz. Desde el más rígido al más blando, las principales clases de tejido conectivo son hueso, cartílago, tejido conectivo denso o fibroso, tejido conectivo laxo y la sangre (Marieb, 2008).

Hueso

El hueso, o tejido óseo, es el tejido conjuntivo más fuerte, pero menos flexible, afirma Marieb (2008). Se compone de células óseas, las cuales se sitúan en cavidades llamadas *lacunae* y están rodeadas por capas de una matriz muy dura que contiene sales de calcio y un gran número de fibras de colágeno. Su dureza rocosa le otorga una capacidad excepcional para proteger y hacer de soporte para otros órganos del cuerpo (por ejemplo, el cráneo envuelve y protege al cerebro). En este sentido, su función primaria es ofrecer soporte, así como protección, movimiento, formación de células sanguíneas y reserva de minerales.

Composición química del hueso

El tejido óseo está constituido por los componentes orgánico e inorgánico. El orgánico se compone de células, fibras de colágeno y sustancia de base (material amorfo con elementos estructurales, compuesto de polisacáridos proteínicos, líquidos y metabolitos), y constituye el 35 por ciento de la masa ósea. El componente inorgánico consta de sales minerales, principalmente fosfato de calcio, y conforma el 65 por ciento de la masa muscular.

Células óseas

Hay tres tipos básicos de células que componen y mantienen sano al tejido óseo: osteoblastos, osteoclastos y osteocitos.

Los osteoblastos forman la matriz ósea y se relacionan con el crecimiento, reparación y remodelación óseos. Los osteoclastos se vinculan con la reparación y remodelación; son grandes células polinucleares capaces de desintegrar el hueso. Los osteocitos son células destinadas al mantenimiento a largo plazo, que se transforman a partir de osteoblastos alojados en su matriz ósea.

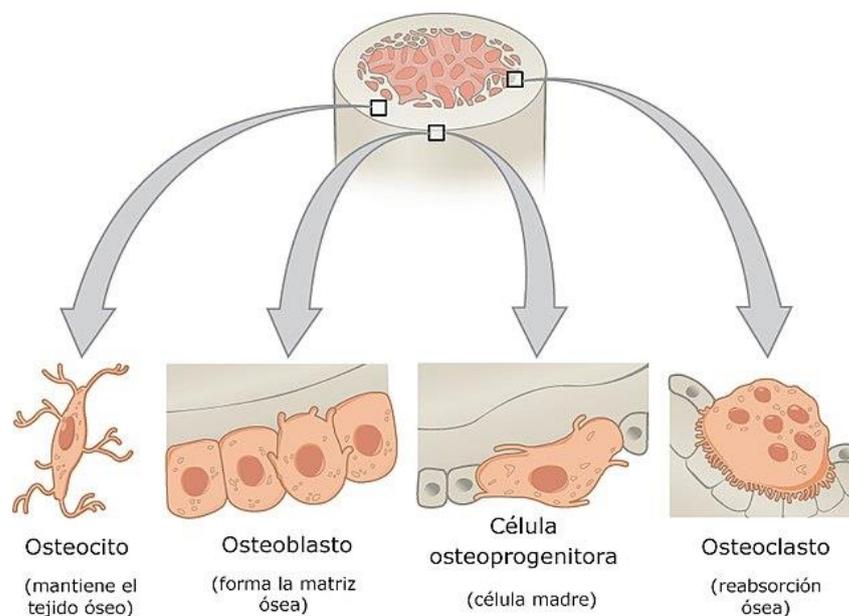


Ilustración 3. Células óseas. Fuente: Lifeder. <https://www.lifeder.com/tejido-oseo/>

El cráneo

En función de que el traumatismo de cráneo constituye el objeto de estudio de esta investigación, a continuación, se realiza una reseña sobre la estructura del mismo, para poder evaluar cómo se ve afectada ante un impacto.

Vargas Sanabria (2014) enfatiza que conocer la anatomía del cráneo y del encéfalo, y reconocer los diferentes tipos de lesiones que pueden producirse en ellos, ayuda a inferir el mecanismo de producción de las mismas. Asimismo, permite conjeturar la manera de muerte, o, si ésta es conocida, permite determinar si lo observado es compatible con la historia proporcionada, y/o lo hallado durante la investigación del lugar del hecho.

Esqueleto de la cabeza

El cráneo se conforma de dos grupos de huesos: el cráneo propiamente dicho, y los huesos faciales (Marieb, 2008). El primero, protege el tejido cerebral frágil, y los segundos mantienen los ojos en una posición anterior y permiten que los músculos faciales formen expresiones. Todos excepto uno de los huesos de la cabeza se mantienen unidos por medio de suturas,

que son articulaciones de interbloqueo inmóviles. Únicamente la mandíbula se une al resto del cráneo mediante una articulación totalmente móvil.

Cráneo

El cráneo presenta forma de caja y consta de ocho grandes huesos planos, siendo todos individuales excepto dos pares de huesos (el parietal y el temporal), expone Marieb (2008).

- Hueso frontal: el hueso frontal constituye la frente, las proyecciones óseas por debajo de las cejas y la parte superior de la órbita de cada ojo.
- Huesos parietales: los parietales son un par de huesos que constituyen la mayor parte de las paredes superior y laterales del cráneo. Se ubican en el centro, en la sutura sagital y forman la sutura coronal, donde se encuentran con el hueso frontal.
- Huesos temporales: los huesos temporales se ubican por debajo de los huesos parietales, uniéndose a ellos en las suturas escamosas.
- Hueso occipital: el hueso occipital forma el suelo y la parte trasera de la pared del cráneo. Se une a los parietales por la parte anterior en la sutura lambdoidea. En la base de este hueso hay una abertura grande, el agujero magno, que rodea la parte inferior del cerebro, y permite la conexión entre éste y la médula espinal.
- Hueso esfenoides: tiene forma de mariposa; abarca el ancho de la cabeza y forma parte del suelo de la cavidad craneal.
- Hueso etmoides: este hueso presenta una forma muy irregular y se sitúa en la parte anterior al hueso esfenoides. Constituye el tejado de la cavidad nasal y parte de las paredes centrales de las órbitas.

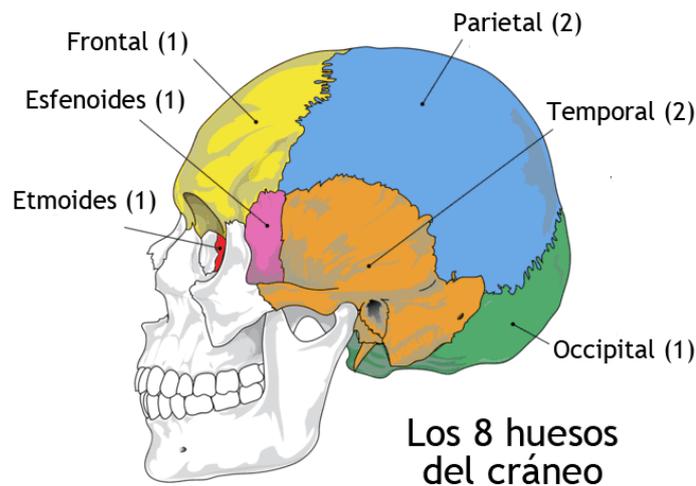


Ilustración 4. Huesos del cráneo. Fuente: Docsity. <https://www.docsity.com/es/huesos-del-craneo-para-una-mejor-comprension/5115594/>

Cuero cabelludo

Como se verá más adelante, la presencia de tejidos blandos, es decir, aquellos formados por tejido conectivo, incluyendo el tejido epitelial, muscular y nervioso, pero excluyendo el tejido óseo (piel, tejido graso, músculo, ligamentos y estructuras vasculares y nerviosas) son capaces de absorber una gran cantidad de energía, por lo que puede no producirse una adecuada correlación entre el agente efector, la fuerza aplicada y el tamaño de la herida resultante (Gómez Montero, 2008).

Dentro de este grupo de tejidos, el cuero cabelludo y su grosor en la zona de impacto interfiere en el proceso de producción de las lesiones traumáticas (Di Maio, 2001) principalmente por su capacidad de absorber la energía cinética proveniente de un golpe contundente y también por su fuerza tensil, por lo que en traumas de poca energía puede no haber compromiso óseo. Debido a esto, es importante conocer cómo se encuentra conformado.

Sotelo Chavez (2004) explica que sus tegumentos están formados por cinco capas, las cuales se detallan a continuación según su posición, desde la superficie a la profundidad:

- Piel: consiste en una gruesa capa dermo epidérmica, cuyo espesor varía entre 3 y 8 mm., que va disminuyendo desde la porción superior del cuello y occipucio, zona de mayor grosor, hacia la porción frontal, mastoidea y temporal.

- Tejido celular subcutáneo: está constituido por tejido adiposo y conectivo denso. Cuenta con tabicaciones que se encargan de unir, de manera firme, la piel subyacente a la galea y músculo occipital y rostralmente al músculo frontal.
- Epicráneo: debajo de él, hay un tejido conectivo laxo que está formado por tejido areolar, pequeños vasos y venas emisarias. Esta capa es la que otorga la movilidad al cuero cabelludo, y también permite la comunicación entre las venas superficiales del mismo y los senos venosos intracraneales.
- Tejido areolar subgaleal
- Pericráneo: está formado por el periostio, que contiene pequeños vasos nutricios, los cuales pasan a través del hueso subyacente; asimismo, está íntimamente unido a la tabla externa del cráneo óseo, especialmente en las líneas de suturas. Esta capa se caracteriza por su capacidad de nutrir injertos dermo epidérmicos de espesor parcial.

Capítulo V

Tipos de traumas contundentes en el cráneo

Las lesiones traumáticas en el cráneo pueden dividirse, según Ramírez Restrepo (2017), en fracturas, dislocaciones, deformaciones y las condiciones traumáticas misceláneas.

Las fracturas, entre los traumas óseos, son consideradas las más relevantes y se definen como toda solución de continuidad del hueso de origen traumático; las dislocaciones son lesiones en las articulaciones que sacan al hueso de su posición normal. Una dislocación es una condición en la que hay pérdida completa del contacto normal entre los componentes, sin embargo, puede o no estar asociada a la fractura; las deformaciones son aquellas lesiones producidas por un trauma de bajo grado que durante un tiempo prolongado puede modificar la forma normal del hueso; y, por último, las condiciones misceláneas, incluyendo aquellas que no afectan directamente el esqueleto (Ramírez Restrepo, 2017).

Por otro lado, también se encuentran las fisuras, que son aberturas delgadas y alargadas, diferenciándose de las fracturas en que la separación entre los bordes del hueso es muy pequeña o incompleta y en que, además, no hay fragmentos óseos (Clinicainternacional.com.pe, s.f.).

La biomecánica en la producción de fractura por objeto contundente

La identificación del elemento productor de un traumatismo resulta una tarea compleja, pero es posible reconocer si éste actuó por impacto (como en el caso de una fractura conminuta, estrellada o “en tela de araña”) o por compresión (lo cual genera fracturas lineales que inician en la base del cráneo y se extienden hacia la bóveda por aplastamiento del mismo). A su vez, puede inferirse la magnitud de la energía cinética empleada según el trazo de la fractura y si la misma es expuesta o si se observa pérdida de sustancia.

Por lo tanto, para analizar los traumatismos debidamente, es necesario conocer los principios involucrados en su desarrollo, los cuales son abarcados por la biomecánica.

La biomecánica es la “aplicación de los principios de la mecánica a los sistemas biológicos” (Ruff, 2000, como se citó en Ramírez Restrepo, 2017), por lo que permite comprender las fuerzas que actúan en la producción del trauma por objeto contundente. En este sentido, los análisis basados en la mecánica pueden resultar útiles para la reconstrucción de los patrones de comportamiento del tejido óseo, ya que las influencias mecánicas que intervienen pueden ser ubicadas e interpretadas.

Este tipo de trauma se manifiesta a través de una gran variedad de patrones de fractura, cuyas características dependen de múltiples factores. Estos incluyen las propiedades

biomecánicas del hueso, su morfología e integridad estructural, la mineralización y la densidad del esqueleto, así como la naturaleza de las fuerzas de carga que intervienen (Galloway et al., 2013, como se citó en Ramírez Restrepo, 2017). La fuerza, el estrés, el impacto y la elasticidad, son factores que determinan el tipo y la severidad de la fractura resultante.

Fuerza

El trauma por objeto contundente es producto del daño infligido por diferentes fuerzas, entendiéndose por fuerza a la carga de rotura o el forzamiento que un material es capaz de soportar antes de romperse (Galloway et al., 2013, como se citó en Ramírez Restrepo, 2017). Su dirección de aplicación e intensidad, son circunstancias que inciden en el proceso de producción de la fractura. A su vez, intervienen las propiedades de rigidez – capacidad de resistir la deformación ante la aplicación de una fuerza – y dureza del hueso – definida por el trabajo o energía necesaria para provocar el daño –. Gómez Montero (2010) añade que las propiedades visco elásticas del hueso son las que permiten que éste sufra fenómenos de compresión y tensión ante la aplicación de una fuerza.

Los traumatismos pueden generarse por las fuerzas de tensión, compresión y cizalladura. La flexión, la torsión, o las combinaciones de múltiples fuerzas, también pueden producir discontinuidades en el hueso. Ramírez Restrepo (2017) define a estas fuerzas de la siguiente manera:

- Fuerza de tensión: es una fuerza de estiramiento, originada cuando cargas iguales y opuestas actúan sobre un material, tirando de él aparte. En el cuerpo, genera daños en las articulaciones y ligamentos, siendo capaz de romper la unión del tendón, separándolo del hueso.
- Fuerza de compresión: se produce cuando cargas iguales y opuestas son aplicadas sobre un material, empujando juntas. Es común en caídas y golpes de la superficie corporal con objetos o superficies.
- Fuerza de cizallamiento: se genera cuando se ejerce una carga paralela a la superficie de un material, habiendo dos fuerzas que actúan en sentidos opuestos, dando lugar al deslizamiento óseo.
- Fuerza de flexión: actúa al forzar al hueso a enderezarse, o en su sentido opuesto a incurvarse.

- Fuerza de torsión: se caracteriza por superar la capacidad elástica ósea, dando lugar a una serie de pequeñas grietas verticales, que se amplían y propagan como una fractura espiral.

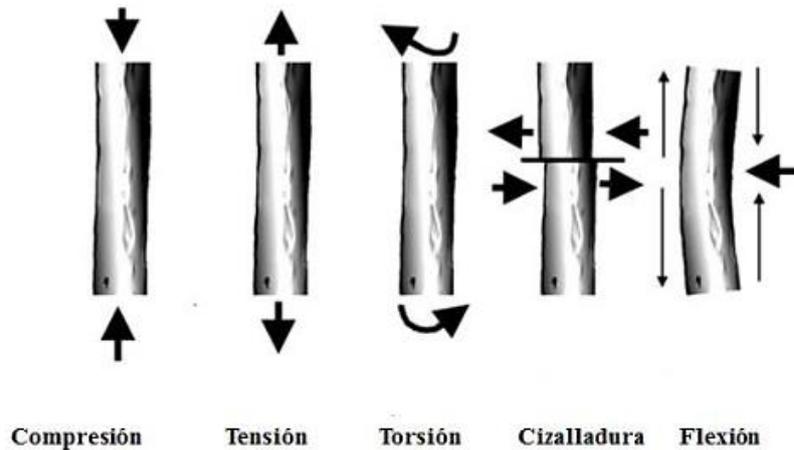


Ilustración 5. Tipos de fuerza que producen la fractura. Fuente: Galloway, A., & Wedel, V. L. (2013).

Broken bones: anthropological analysis of blunt force trauma. Charles C Thomas Publisher.

Energía

Cuando la energía cinética es ligera o moderada, indica Aso Escario, la magnitud de las lesiones no excede de una contusión o laceración de partes blandas, y abarcan un área más o menos reducida. Si es mayor, la energía cinética puede superar la resistencia craneal, provocando una fractura.

Acorde a Di Maio (2001) la cantidad de energía requerida para producir una única fractura lineal a partir de un golpe (o caída) de baja velocidad, depende de la dureza y flexibilidad de la superficie impactante. Cuando esta es blanda y flexible, un gran porcentaje de la energía impactante se transfiere a la superficie, por medio de la deformación de la misma, disminuyendo la cantidad de energía disponible para causar heridas a la cabeza. En el caso de una superficie rígida e inflexible, donde no se transfiere energía a la misma en el momento del impacto, se requieren aproximadamente 45,15 – 101,69 julios de energía para producir una fractura lineal. Esta energía se absorbe en 0,0012 segundos. En los primeros 0,0006 s se deforma y comprime el cuero cabelludo, y en los 0,0006 s restantes se deforma el hueso. Para producir fracturas múltiples o estrelladas, se requiere, aproximadamente, la misma cantidad de energía, necesitándose sólo un leve aumento de la misma. Incluso, la misma cantidad de fuerza necesaria para producir una fractura lineal, podría producir una fractura estrellada en otra área del cráneo.

Negre Muñoz et al. (2013) afirman, igualmente, que para que ocurra una fractura craneal es necesario que el golpe contundente transmita a la cabeza una energía que supere la resistencia del hueso, y que la cantidad requerida varía según la zona. En la región frontal, señalan, se requiere una energía mayor a 64,49 julios; en el área occipital, 5,85 julios, en el vértex, 79,93 julios, y en la región temporal, 69,50 julios.

Impacto

Como resultado de la acción de las diferentes fuerzas implicadas en los patrones de fractura, pueden distinguirse traumas directos e indirectos, que se relacionan con el tipo de impacto (Ramírez Restrepo, 2017).

Cuando un objeto golpea un cuerpo inmóvil o con una movilidad reducida, o cuando el propio cuerpo impacta contra un objeto inmóvil o dotado de un movimiento lento, se hace referencia a un trauma directo. Comprende aquella lesión que acaece en el mismo punto en el cual se ejerció la fuerza, y que da como resultado fracturas transversales, penetrantes, conminutas o por aplastamiento.

En el trauma indirecto, señala Ramírez Restrepo (2017), la fractura ocurre en un punto alejado del que recibió el impacto. Generalmente, es causado por una carga compresiva, siendo inducido por tensión, rotación u angulación, y se asocia con fracturas oblicuas, por torsión de tipo rotación, espiroideas, por arrancamiento, en tallo verde o greenstick, por compresión, con impacto o por flexión.

Elasticidad y resistencia craneal

La elasticidad permite entender la respuesta del hueso al trauma, ya que cuando el mismo llega a su límite de elasticidad, pasa a uno de plasticidad, donde se da la deformación permanente, y la continuidad de la tensión provoca que se llegue al punto de fractura. Por ello puede afirmarse que “toda fractura se da cuando se ha sobrepasado su capacidad plástica” (Galloway & Zaphro, 2006, Lovell, 2008 y White, 2012, como se citó en Ramírez Restrepo, 2017).

Es importante remarcar que la capacidad de un material para absorber energía viene dada, principalmente, por su forma y rigidez (Ramírez Restrepo, 2017). Esto permitirá clasificarlo como isotrópico, si puede soportar el estrés por igual en todas las direcciones, o anisótropo, si es capaz de soportarlo mayormente en una dirección. Teniendo en cuenta que el hueso es capaz de soportar, fundamentalmente, esfuerzos de compresión, de tracción o cizalladura, se lo considera anisótropo, aunque hay cierta variabilidad inherente en su calidad debido al crecimiento y desarrollo, el envejecimiento, la arquitectura ósea, y la condición del hueso (fresco o seco) al momento de la fractura.

Por otro lado, la capacidad para resistir una fuerza es directamente proporcional al área de sección transversal y a la rigidez o elasticidad del material (Currey, 1970, como se citó en Ramírez Restrepo, 2017). Si dos objetos tienen similar rigidez, pero distinta área, la capacidad para soportar fuerzas de carga no será la misma. Inversamente, si cuentan con diferente rigidez, pero semejantes dimensiones, su resistencia también será desigual. En el hueso, evidentemente, también se cumplen estos principios.

La resistencia craneal es una propiedad que está asociada estrechamente con la elasticidad, y puede variar según el caso, indica Aso Escario (2011). En niños pequeños, puede no generarse una fractura ante severos traumatismos, mientras que condiciones como la osteoporosis favorecen la producción de heridas craneales penetrantes.

Paralelamente, el cráneo posee “ventanas” que se caracterizan por tener menor resistencia; estas incluyen el techo orbitario, la lámina cribosa, papirácea de etmoides, la escama temporal, o los senos frontales (Aso Escario, 2011). De esta manera se evidencia la influencia de la localización del impacto en las heridas resultantes, por lo que, al momento de realizar el estudio reconstructivo craneal, es importante medir el espesor medio de la zona comprometida.

Variables que intervienen en el trauma óseo craneal

En este apartado se describen distintas circunstancias, enunciadas por Ramírez Restrepo (2017), que se ven involucradas en el proceso de producción de un trauma óseo, influyendo en el tipo de fractura resultante y sus características.

- Edad: influye en la apariencia, el proceso de sanado (en caso de haberlo) y la forma de fractura, debido a que el contenido cálcico y la elasticidad de los huesos – como se ha mencionado anteriormente – no es igual en individuos infantiles, juveniles o seniles, y por lo tanto difiere la capacidad de sobrepasar el límite para generar una fractura.
- Estado de salud y/o enfermedad: puede verificarse evaluando el estado de los huesos, ya que es un aspecto que se relaciona directamente con todo tipo de fractura, permitiendo evaluar el mecanismo del trauma.
- Mecanismos o fuerzas que intervienen: la producción de fracturas se vincula con distintos mecanismos, pudiendo ser generadas por corte (compresión o cizallamiento estrecho), por proyectil, por cizallado, es decir un instrumento dentado, por calor y sustancias químicas, o por objeto contundente.

- Número de impactos: una vez que el hueso se ha fracturado, disminuye su resistencia a próximos impactos, por lo que golpes posteriores dañarán notablemente el material, llegando a provocar, en ocasiones, su destrucción.

- El agente efector o causal: el uso de objetos contundentes como arma homicida o de asalto para efectuar golpes contra la cabeza es una forma habitual de violencia corporal durante la comisión de un hecho ilícito.

Se considera objeto contundente a aquel capaz de producir un daño físico considerable por la fuerza o la energía con que se maneja y que se caracteriza por tratarse de un elemento con bordes romos y poseer peso, como puede ser un palo, un bate, una piedra o un martillo.

Desde el punto de vista criminalístico estos instrumentos encuadran como armas impropias, puesto que no siendo creados como armas son utilizados como tal por el sujeto, por lo que se constituyen ofensivos para las víctimas y presentan un poder lesivo considerable e incluso letal.

En ocasiones, las armas contundentes provocan diversos patrones traumáticos en el tejido óseo que, mediante su análisis, permiten la asociación entre ellos y el elemento causante. Para ello, se tienen en cuenta las características de cada elemento, como su forma, dimensiones, peso y área de superficie de contacto, además de considerarse la fuerza con la que incide sobre el hueso.

En Argentina, se complejiza la tarea de encontrar una estadística oficial con datos certeros sobre el homicidio por trauma craneal debido a un impacto contundente, con especificaciones sobre el elemento utilizado y la frecuencia de su empleo en estos hechos.

En función de ello, se realizó una investigación reuniendo y obteniendo datos de 56 artículos periodísticos sobre casos de este tipo, para conocer los objetos más utilizados e identificar el porcentaje de uso de cada uno, determinando así, cuáles son los más habituales. Los hechos son variados en función de que esta es una metodología de agresión frecuente, que se presenta en enfrentamientos y riñas, en homicidios en ocasión de abuso sexual o robo, femicidios, etc.

La información fue registrada en el siguiente gráfico:

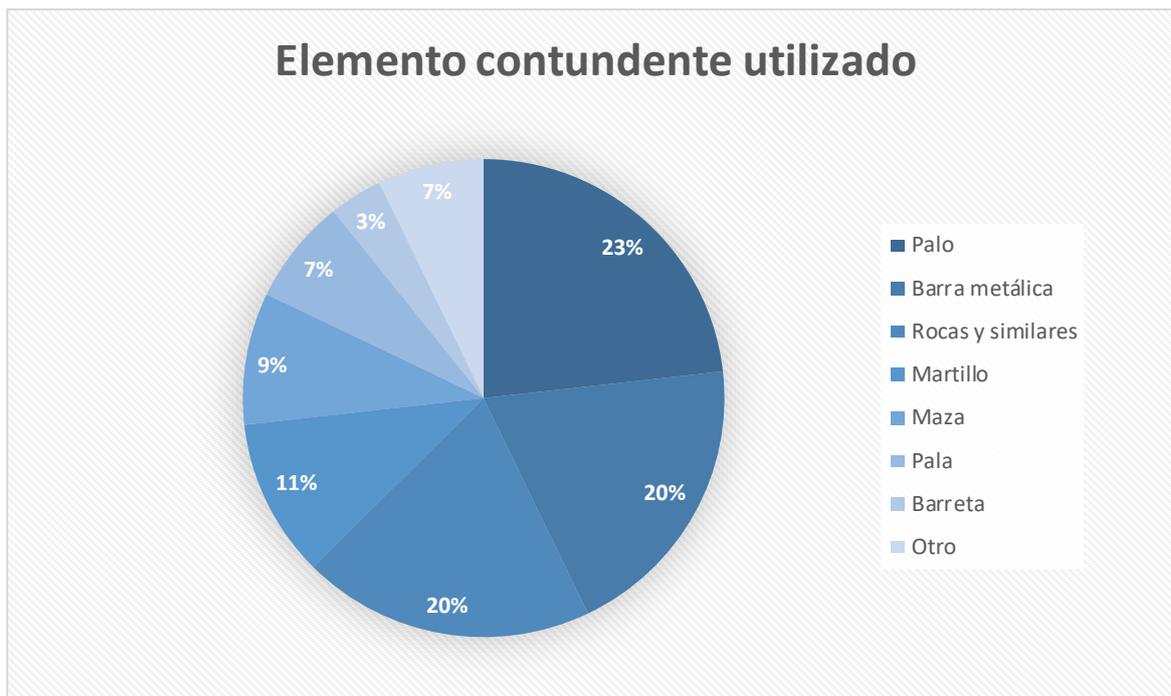


Gráfico 1. Elementos contundentes más utilizados como arma homicida en Argentina. Fuente: elaboración propia.

Como se observa, el arma más recurrente fue un palo o pieza de madera, en distintas versiones (leño, palo de escoba, tabla de madera), siendo aplicada en 13 de 56 casos. Es seguida por la barra metálica, englobando en este grupo a caños, varillas de hierro y similares, empleados en 11 casos. En la misma cantidad de hechos, se utilizaron diferentes tipos y formatos de rocas (escombro, pieza de mármol, ladrillo, piedra, cascote). En seis homicidios, el martillo fue el agente causante, así como en cinco lo fue la maza, en cuatro la pala, y en dos, la barreta. Finalmente, en cuatro ocasiones, dentro de las consultadas, se emplearon objetos singulares que no formaban parte de los grupos anteriormente nombrados, incluyendo una plancha y un terrón de tierra.

De esta manera, se evidencia que las herramientas elegidas para cometer estos crímenes varían ampliamente. Esto reafirma que cualquier clase de objeto puede convertirse en un arma mortal si se aplica con la suficiente efectividad como para generar una lesión letal.

- **Sexo del atacante:** Zurita Pérez (2009) añade que, según estudios anteriores, la fuerza muscular en la parte superior del cuerpo es entre 43 y 63% menor en el caso de las mujeres, lo cual trasladado a una situación de violencia interpersonal donde se ejerzan impactos sobre la cabeza, resulta un factor influyente para el tipo y gravedad de lesiones que se generen.

- Otros factores: Di Maio (2001) resume las circunstancias que influyen en el grado de deformación del cráneo, la generación de fracturas y la extensión de las mismas, en cualquier tipo de caída o golpe a la cabeza. Algunos se han mencionado en párrafos anteriores, pero añade la cantidad de cabello, el espesor del cuero cabelludo, la configuración y grosor del cráneo, y la velocidad con la que el golpe se provoca (o con la que la cabeza impacta al objeto) porque, como añade Aso Escario, se precisa de un intervalo corto para producir una penetración intracraneal, y las altas velocidades hacen disminuir el tiempo de impacto, de manera que un objeto de igual masa y superficie de contacto tendrá mayor capacidad de penetración intracraneal. Moritz (1954), citado por Ruchonnet et al. (2018), agrega otro factor interviniente al señalar que las lesiones varían según el movimiento que tenga la cabeza al momento del impacto, ya que se producirán fracturas lineales o deprimidas de forma incompleta si puede moverse libremente, y fracturas por hundimiento si descansa contra una superficie sólida.

Sotelo Chávez (2004) clasifica a todos los factores detallados como extrínsecos o intrínsecos, agrupándolos de la siguiente manera:

- Factores extrínsecos: intensidad y duración del traumatismo, dirección de las fuerzas actuantes, punto de aplicación, tamaño y forma del elemento lesivo, etc.
- Factores intrínsecos: son, fundamentalmente, las cualidades particulares de cada hueso, que varían según la constitución ósea. Comprenden la estructura histológica, la composición, forma y espesor. De estas características derivan la elasticidad y dureza del hueso, así como la resistencia del mismo a la fatiga, y su capacidad de absorber y transmitir la energía que es desplegada por el agente efector.

Capítulo IV

El cerdo como modelo análogo para investigaciones

Los cerdos domésticos (*Sus scrofa domestica*) están estrechamente relacionados con los seres humanos en términos morfofisiológicos, por ello, con frecuencia, son utilizados como modelo para diversos estudios.

Estos animales se caracterizan por poseer un cuerpo redondeado, extremidades relativamente cortas con pezuñas, un hocico largo y blando, y una cola corta. Su piel es gruesa y se encuentra cubierta, en algunas partes, de ásperas cerdas.

Piel

La piel del cerdo se compone principalmente de tres capas con diferentes estructuras y/o funciones (Moreno, Rodríguez, & Díaz, 2018):

1. La epidermis es la principal barrera externa en los porcinos. Se encuentra en constante descamación y consiste en cuatro capas principales; una delgada capa cornificada residual (estrato córneo), una capa granulosa discreta (estrato granuloso), una capa espinosa gruesa (estrato espinoso) y una monocapa basal (estrato basal) que se apoya en la dermis.
2. La dermis, compuesta de tejido conectivo, da soporte a los vasos sanguíneos, nervios, vasos linfáticos y a los apéndices epidérmicos. Se divide en dos capas que se combinan sin una demarcación clara, la capa papilar (superficial) y la capa reticular (profunda), constituida en gran parte por tejido conjuntivo irregular denso con fibras de colágeno.
3. La hipodermis se encuentra entre la dermis y huesos o músculos, poseen una gran parte de grasa corporal. Está compuesta por dos capas de tejido, la capa superficial de la hipodermis suele ser más gruesa.

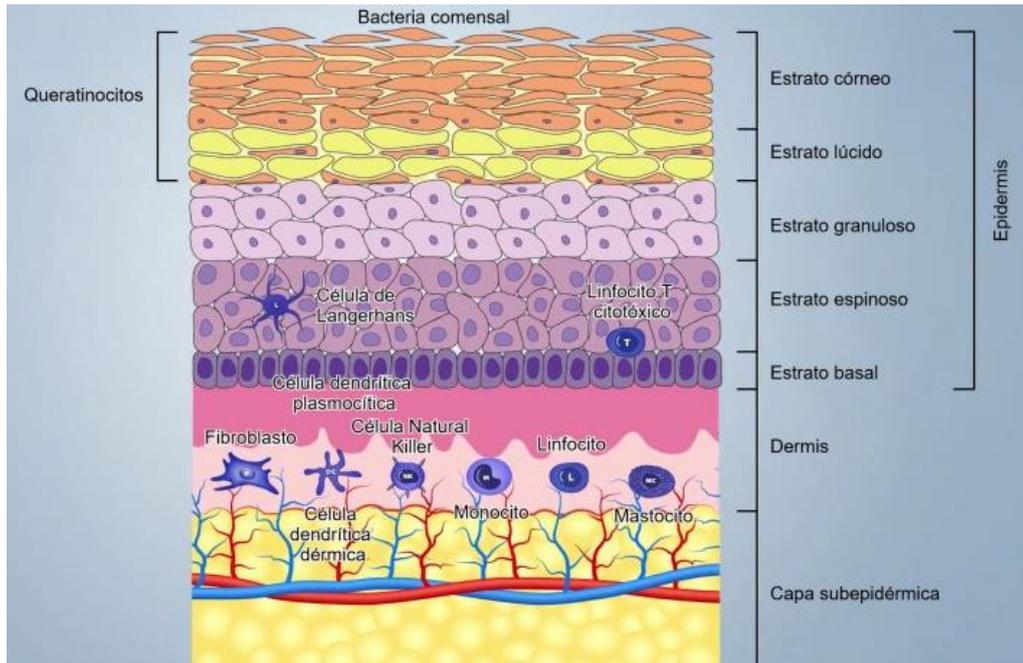


Ilustración 6. Capas de la piel del porcino. Fuente: Comunidad profesional porcina.

https://www.3tres3.com/articulos/el-sistema-inmunitario-y-la-inmunidad-en-el-cerdo-la-piel_39194/

Cráneo

El esqueleto de la cabeza de cerdo se divide en dos partes: el cráneo y cara. El cráneo está constituido por 8 huesos en forma general. La región frontal es inclinada y la región nasal es larga o achatada según la raza. A continuación, se ilustran los huesos constituyentes.

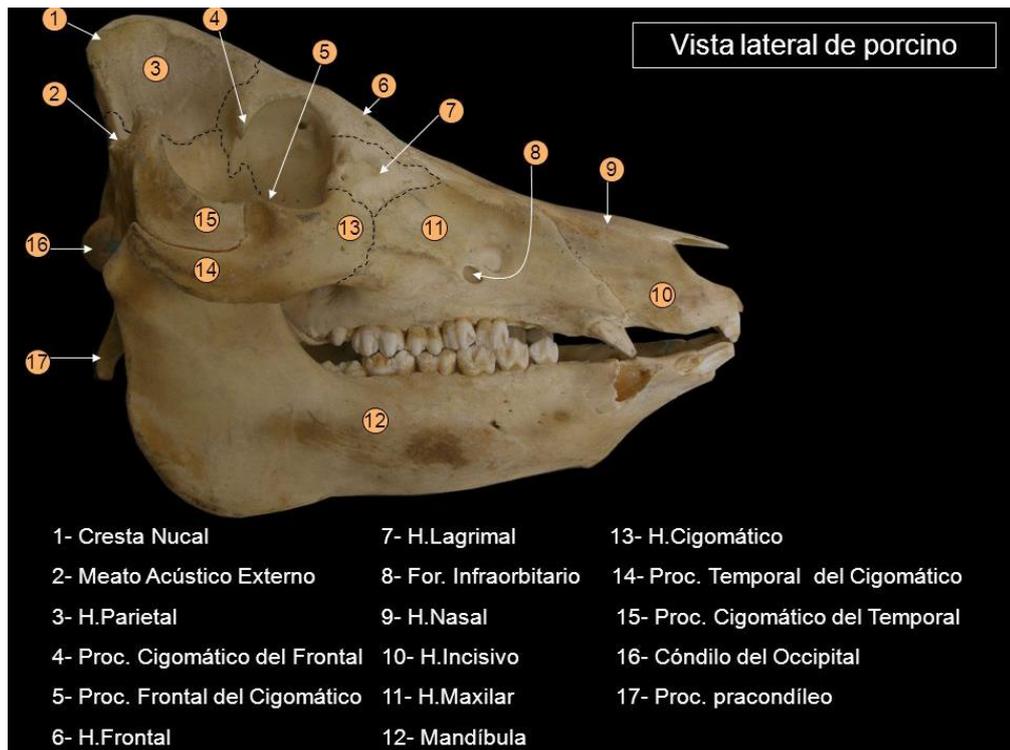


Ilustración 7. Vista lateral de la estructura ósea de la cabeza del porcino. Fuente: Osteología de cabeza. <https://slideplayer.es/slide/5500797/17/images/22/Vista+lateral+de+porcino.jpg>

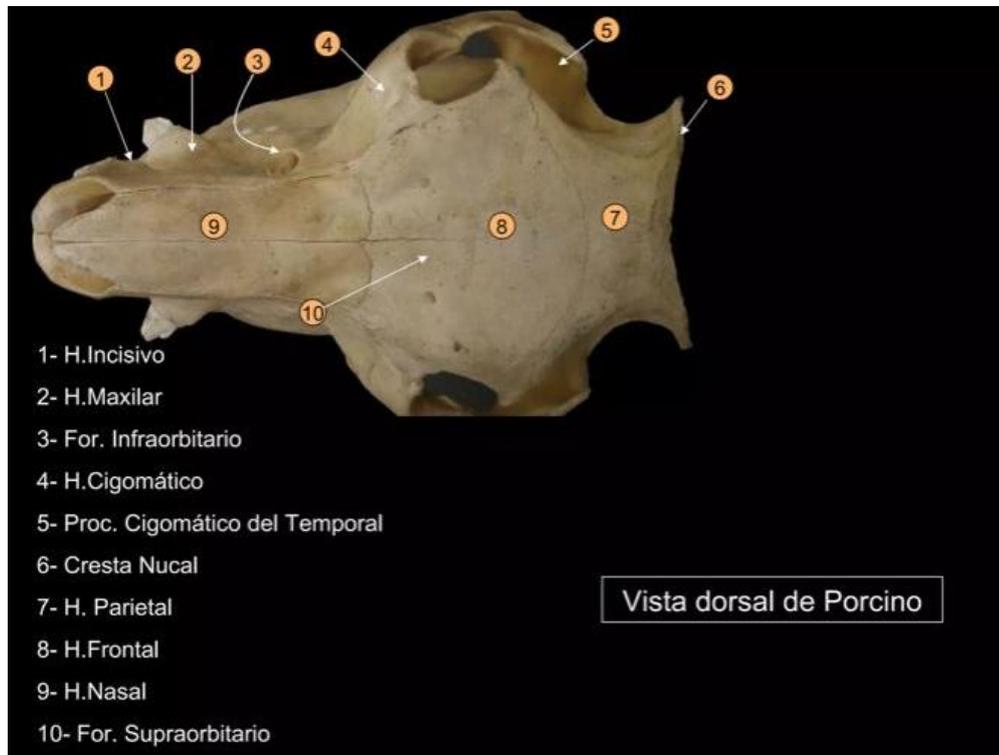


Ilustración 8. Vista dorsal de la estructura ósea de la cabeza del porcino. Fuente: Osteología de cabeza. <https://slideplayer.es/slide/5500797/17/images/22/Vista+lateral+de+porcino.jpg>



Ilustración 9. Vista lateral de la estructura ósea de la cabeza del porcino, puntualmente desde el occipital hasta la fosa orbitaria. Fuente: Osteología de cabeza.

<https://slideplayer.es/slide/5500797/17/images/22/Vista+lateral+de+porcino.jpg>

Hipótesis de investigación

Las características morfológicas de los traumas producidos en el cráneo por el impacto de objetos contundentes permiten inferir el elemento causante.

Metodología de investigación

La experimentación consistió en la producción de lesiones contundentes a 6 cabezas y media de cerdo de sexo desconocido y de edad de muerte similar, para lo que se utilizó cuatro objetos: martillo, palo, roca, caño metálico, con el fin de observar las marcas óseas generadas y establecer una posible asociación con el elemento efector.

Se seleccionó al cerdo como modelo análogo de estudio, ya que esta especie comparte con el ser humano un conjunto de características óseas y cutáneas que lo hacen propicio en términos comparativos, principalmente en escenarios forenses.

Cabe destacar que se trabajó con la mitad de cada cabeza, ya que no fue posible conseguir cabezas enteras. Sin embargo, al momento de efectuar la práctica se procedió a unir las mitades utilizando precintos y alambres con el fin de obtener la totalidad buscada.

En primer lugar, se realizó la preparación de las cabezas para trabajar con un tejido similar al cuero cabelludo humano. Para ello, se retiró la piel con una cuchilla, conservando una fina capa de tejido blando, que midió entre tres a ocho milímetros de espesor. Esta tarea se llevó a cabo en el lapso de 3 días.



Ilustración 10. Sustracción del tejido blando. Fuente: elaboración propia.

En segundo lugar, se diseñó una estructura que simule el sostén que aporta la columna vertebral al cráneo humano. Para ello, se apoyaron las cabezas sobre una base que permita un movimiento limitado de las mismas sobre el eje vertical, evitando que se muevan libremente

cuando sean golpeadas y que queden completamente fijas, dado que ninguna de estas situaciones reproduciría la movilidad real de la cabeza cuando se golpea a una persona viva.

El andamiaje estuvo constituido por dos baldes llenos de arena ubicados uno al lado del otro, que sostenían dos varas de madera unidas por un alambre para otorgarle estabilidad. La altura de la estructura fue de, aproximadamente, 1.60 metros, incluyendo la medida de la cabeza, para simular la altura promedio del ser humano, la cual fue investigada previamente. Los cráneos se sostuvieron con dos sogas atadas a un tirante de madera, que poseían un gancho en sus extremos los cuales se enganchaban a los precintos y/o alambres que unían las cabezas. A su vez, se unificó cada cabeza con la estructura por medio de precintos. Todo ello permitió conseguir la movilidad deseada.



Ilustración 11. Andamiaje. Fuente: elaboración propia.

Si bien inicialmente se unieron las mitades, al momento de la experimentación se observó que lo ideal era realizar los impactos sobre cada mitad, y no sobre la cabeza unificada, para evitar su división. De esta manera, se emplearon 13 mitades, correspondiendo 1 al cráneo de prueba y 3 a cada elemento efector.

Se estableció un número de identificación a cada una de las 13 mitades de cráneo. La numeración comenzó con el número cero y finalizó con el número 12. El cráneo correspondiente al número cero se utilizó para poner a prueba los diferentes objetos contundentes y la estructura que lo sostiene, con el propósito de ajustar las características del golpe (ángulo, dirección, fuerza y lugar de impacto) y asegurar que el impacto produzca un efecto potencialmente observable, mientras que las 12 mitades restantes fueron divididas en cuatro grupos de tres individuos. A cada grupo se le asignó un arma.

Se produjeron uno, dos y cuatro golpes por cráneo, a los cuales se les asignó un número según el orden en la sucesión, siendo "1" el primer golpe, "2" el segundo golpe y "4" para el cuarto golpe y, asimismo, se les agregó un número para indicar si el golpe produjo lesiones. En los casos positivos el número coincidirá con la numeración asignada al golpe, pero en los casos negativos se les asignará una "x". En los casos donde se produjo más de un golpe en el mismo lugar del cráneo, se indicará con un asterisco "**".

Respetando estos lineamientos, los datos obtenidos se registraron en la siguiente ficha:

Efector	N° de impactos	Presencia de lesiones
Martillo	1	1
	2	2
	4	4
Caño	1	x
	2	2
	4	4*
Palo	1	1
	2	2

	4	4
Roca	1	1
	2	2
	4	4

Tabla 1. Registro de la presencia de lesiones en función del elemento efector y el número de impactos.

Para realizar los impactos se emplearon cuatro elementos distintos: martillo, caño de metal, piedra y palo de madera, en función de la frecuencia con la que son empleados en casos forenses de violencia interpersonal. Se registraron los datos de peso, morfología (variables métricas) y material de cada uno para evaluar la relación entre estas variables y las características de la lesión producida.

- **Martillo:** se utilizó un martillo galponero, con cabeza de metal y mango de madera, e imperfecciones en su estructura producto de su uso. Su peso es de 595 g. El largo de su mango es de 28 cm y su ancho es de 3,5 cm. La cabeza en su totalidad posee 5 cm de alto y 12 cm de ancho, y el diámetro de su cara, la cual coincide con la superficie de impacto, es de 2,5 cm.



Ilustración 12. Martillo empleado como elemento lesivo. Fuente: elaboración propia.

- Caño: se empleó un caño de gas de acero inoxidable recubierto de pintura epoxi color amarilla. Se observan desprendimientos de este material a lo largo de su superficie, así como marcas y desperfectos ocurridos previamente debido a su uso. Su diámetro es de 3 cm y su largo de 39 cm, y posee un codo en su extremo. Este último tiene un diámetro de 3,5 cm y el largo, considerando su curvatura, es de 8 cm. El peso del artefacto en su totalidad es de 590 g.



Ilustración 13. Caño de metal empleado como elemento lesivo. Fuente: elaboración propia.

- Palo: el palo está constituido por madera de pino y presenta una forma cuadrada; cuenta con un largo de 83,5 cm, un ancho de 4,5 cm y un alto de 4,5 cm. Su peso es de 765 g.



Ilustraciones 14 y 15. Palo de madera empleado como elemento lesivo. Fuente: elaboración propia.

- Roca: la piedra utilizada es de forma irregular y tiene un largo de 17,5 cm, un ancho de 10 cm y un alto máximo de 4,5 cm. Su peso es de 1,340 kg.





Ilustraciones 16 y 17. Roca empleada como elemento lesivo. Fuente: elaboración propia.

Una vez producidos los impactos sobre las cabezas de cerdo, se procedió a su limpieza. La osteotecnia consistió en hervir los cráneos en grupos, en función del elemento utilizado, en agua con detergente durante aproximadamente dos horas para que se desprendan los tejidos blandos; luego, fueron retirados, se enjuagó cada cabeza con agua y detergente y se dejaron secar a temperatura ambiente.



Ilustraciones 18 y 19. Proceso de hervido de las cabezas para el posterior retiro de los tejidos blandos. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se analizaron mediante observación directa las lesiones ocasionadas, a efectos de describir las características morfológicas que presentaban y valorar su posible correspondencia con el elemento causante.

En esta instancia, se decidió reiterar la práctica, específicamente para uno y cuatro golpes con caño y un golpe con martillo sobre otras tres mitades, debido a que los cráneos utilizados inicialmente no presentaron marcas debido a la presencia de tejidos blandos los cuales absorbieron el golpe. Por lo tanto, se repitió la experimentación con el objetivo de golpear una zona que presente menos cantidad de tejido, y, por ende, impactar significativamente sobre el tejido óseo.

Análisis de datos

En esta sección se presentan los resultados de la experimentación y las observaciones que surgen en relación a ellos.

De manera general, se percibió que en la producción de lesiones influyeron los principales factores considerados, que fueron el tipo de elemento efector y el número de impactos, pero también otros diversos factores tales como las dimensiones de los objetos, la zona de impacto sobre el cráneo y el espesor del tejido blando en la misma, el área de la superficie de contacto, la cantidad de energía con la que se impacta, y la distancia entre el agresor y el área de impacto. A su vez, se notó una diferencia significativa entre la fuerza generada cuando el agresor es de sexo femenino o masculino.

Cabe destacar que, debido a que los golpes se ejercieron sobre cráneos con presencia de tejido blando, al momento de analizar las lesiones, éstas se notaban más nítidas cuando el hueso ya se encontraba seco. Al contrario, al observarlas inmediatamente luego de retirar este recubrimiento, al estar húmedo el hueso, resultaban difíciles de percibir a simple vista.

En primer lugar, se enuncian los hallazgos descubiertos en función del elemento efector y el número de impactos. Luego, se describe cómo influyeron en los resultados los demás factores mencionados.

Martillo

- Un impacto: el tejido se marcó de forma irregular en el punto de impacto sobre el hueso frontal, dejando a la superficie del cráneo con una textura con relieves y depresiones, diferenciándose del resto del tejido.



Ilustración 20. Lesión en el hueso frontal tras un impacto de martillo. Fuente: elaboración propia.

- Dos impactos: se observó un claro hundimiento en la zona de impacto ubicada en la cara anterior del cráneo, por encima del cóndilo del occipital, cuya forma y dimensiones asimilaban aquella de la circunferencia de la cara frontal del martillo.



Ilustración 21. Hundimiento en la cara anterior del cráneo tras impacto de martillo. Fuente: elaboración propia.

- Cuatro impactos: se produjeron diferentes alteraciones óseas sobre el proceso cigomático del temporal, incluyendo un hundimiento de leve profundidad que afectó la textura y el color del tejido y dos fracturas, una de ellas simple de forma lineal y otra, ubicada por encima, con un desprendimiento de la estructura ósea.



Ilustraciones 22 y 23. Hundimiento y fracturas en el proceso cigomático del temporal producto de cuatro impactos de martillo. Fuente: elaboración propia.

Caño

Los golpes se dieron con el borde sobresaliente del codo acoplado al caño, lo cual influyó en las características de las heridas producidas.

- Un impacto: a pesar de que a nivel externo se observó una laceración notable de importante profundidad en el punto de contacto, el hueso no presentó lesiones ya que la fuerza del impacto fue absorbida por el tejido blando.



Ilustración 24. Lesión en el tejido blando tras un impacto de caño. Fuente: elaboración propia.

- Dos impactos: se halló una fisura y una fractura simple de tipo oblicua con desplazamiento, en función de que es una partición completa con forma inclinada, ambas situadas en sentido transversal al hueso frontal, y otra fractura simple transversal que atraviesa el proceso cigomático del temporal, extendiéndose en sentido vertical a lo largo del mismo.



Ilustraciones 25, 26 y 27. Fisura y fracturas en el proceso cigomático del temporal tras dos impactos de caño. Fuente: elaboración propia.

- Cuatro impactos: sobre el hueso frontal se observaron múltiples alteraciones óseas en forma de depresiones de pequeño tamaño, forma irregular y leve profundidad, mientras que sobre el proceso cigomático del frontal se halló una fisura que se extiende a lo largo de la zona de la fosa orbitaria en dirección vertical.



Ilustraciones 28, 29 y 30. Depresiones y fisura tras cuatro impactos de caño. Fuente: elaboración propia.

Tras examinar el tejido, se encontraron restos de pintura pertenecientes al caño sobre el mismo en el área de impacto; además, el objeto presentaba pequeñas manchas hemáticas sobre la superficie de contacto. Esto se ilustra en la página 56, en el apartado “otros indicios: biológicos y no biológicos”.

Palo

En general, se observaron alteraciones óseas de diferentes longitudes y escasa profundidad, distribuidas sobre el hueso cigomático y el proceso cigomático del temporal. El número de lesiones, naturalmente, varió en función de la cantidad de golpes. La morfología de las mismas se corresponde con el perfil del palo de madera empleado.

Además, en el elemento quedaron restos de tejido blando y humedad perteneciente al mismo, lo cual se mantuvo en el transcurso de los días. Asimismo, se deformó tomando la forma del área de impacto.

- Un impacto: marca lineal de, aproximadamente, 4 cm, sobre el proceso temporal del cigomático.



Ilustración 31. Lesión tras un impacto de palo de madera. Fuente: elaboración propia.

- Dos impactos: marcas lineales de 2 cm sobre el proceso cigomático del temporal y 1,5 cm en el hueso cigomático.



Ilustraciones 32 y 33. Lesiones tras dos impactos de palo de madera. Marca lineal de 2 cm sobre el proceso cigomático del temporal (arriba) y 1,5 cm en el hueso cigomático (abajo). Fuente: elaboración propia.

- Cuatro impactos: marcas lineales de 3 cm y 1,5 cm en el proceso cigomático del temporal, y 1,5 cm en el hueso cigomático.



Ilustraciones 34 y 35. Lesiones tras cuatro impactos de palo. Marcas lineales de 3 cm y 1,5 cm en el proceso cigomático del temporal (izquierda) y 1,5 cm en el hueso cigomático (derecha). Fuente: elaboración propia.

Roca

- Un impacto: se observó una leve depresión de unos 0,5 cm de extensión sobre el hueso frontal.



Ilustraciones 36 y 37. Depresión en el hueso frontal tras un impacto de roca. Fuente: elaboración propia.

- Dos impactos: se halló un pequeño hundimiento en el hueso parietal y otro en el frontal, ambos con una extensión menor a 1 cm y de forma irregular debido a la morfología de la roca.



Ilustración 38. Hundimientos tras dos impactos de roca. Fuente: elaboración propia.

- Cuatro impactos: se encontró una alteración de unos 2 cm de extensión, leve profundidad y forma lineal en el hueso frontal, levemente curva, con un pequeño hundimiento

en su extremo cuya morfología se correspondía con una punta de la roca con la que se golpeó al cráneo.



Ilustración 39. Marca y hundimiento tras cuatro impactos de roca. Fuente: elaboración propia.

Los resultados se asentaron en la siguiente tabla:

Efactor	N° de impactos	Tipo de lesión			Bordes
		Fractura	Ninguna	Otras	
M	1			Alteración ósea (marca con superficie rugosa)	Irregulares
	2			Alteración ósea (hundimiento)	Externo: circular Interno: irregular
	4	Fractura simple lineal Fractura con desprendimiento		Hundimiento	Fractura: bordes irregulares Hundimiento: bordes circulares
C	1		x		

	2	Fractura simple de tipo oblicua con desplazamiento Fractura simple transversal		Fisura	Bordes irregulares
	4			Fisura Depresiones	Bordes irregulares
P	1			Alteraciones óseas superficiales de forma lineal	Bordes lisos
	2				
	4				
R	1			Alteración ósea en forma de depresión superficial	Bordes circulares
	2			Depresiones de poca profundidad	Bordes irregulares
	4			Alteración ósea de forma semi curva y depresión, de mayor profundidad	Bordes suaves levemente irregulares

Tabla 2. Registro del tipo de lesiones producidas en función del elemento efector (martillo: M, caño: C, palo: P, roca: R) y el número de impactos.

Otros factores

La producción de lesiones varió según las dimensiones y composición de los objetos utilizados, porque las acciones necesarias para herir el cráneo variaban en función de la longitud, peso, forma y material de cada uno. Por ejemplo, a pesar de la longitud y el peso del palo de madera (765 g), fue necesario disminuir la distancia entre el agresor y la cabeza para transmitirle una cantidad suficiente de energía como para simular un golpe violento, porque el material constituyente es blando. Al contrario, el martillo y el caño son de menor longitud y peso (595 g y 590 g respectivamente) pero su material metálico es naturalmente más rígido por lo que propicia la producción de lesiones más graves. Lo mismo sucedió en el caso de la roca, debido a su forma y peso, que dificultaban su manipulación.

Se notó que la probabilidad de hallar una lesión sobre el hueso, dependía, en parte, del grosor del tejido blando en la zona impactada, ya que en los casos en que el contacto se dio en un punto con mayor presencia de tejido, la energía del golpe fue absorbida y no se produjeron traumatismos sobre el tejido óseo. A su vez, incide la rigidez del área que es afectada, ya que ésta es desigual en todo el cráneo.

Asimismo, el área de la superficie de contacto incidió en el tipo de lesión obtenida, porque cuando esta fue menor, dio lugar a heridas más profundas y de menor extensión. Por ejemplo, en el caso de la roca, al tener esta una punta pronunciada, el trauma resultante presentó características particulares, que podrían haber variado en caso de utilizarse otra parte del objeto. De esta manera, pudo apreciarse que la morfología de la herida variará en función de la cara del elemento que impacte contra el tejido.

La distancia entre el agresor y el área de impacto también dio lugar a variaciones en los traumatismos encontrados, porque cuando el golpe se produjo a menor distancia, la cantidad de energía ejercida sobre la cabeza fue mayor, dando lugar a lesiones más notorias.

En cuanto al sexo del agresor, existió una diferencia en los traumas resultantes, a partir de que se le solicitó a una persona de sexo masculino que realice impactos con distintos elementos (caño, roca), y se evidenció una variación significativa en cuanto a la cantidad de fuerza que era dirigida sobre el cráneo, por lo que las lesiones producidas fueron de mayor gravedad.

La energía cinética también resultó un factor importante, porque se percibió que se requería la aplicación de cierta cantidad para que se produzca una fractura en el cráneo, teniendo en cuenta que el cuero cabelludo (representado por el tejido blando en la cabeza de los porcinos) tiene la capacidad de absorber dicha energía, por lo que será responsable de que en ciertos casos no haya compromiso óseo.

Indicios biológicos y no biológicos

Es importante mencionar que, además de la presencia de indicios biológicos, los rastros no biológicos sobre el tejido, pueden orientar en la búsqueda del objeto que produjo la lesión, en función del principio de transferencia. Esto se evidenció al encontrar restos biológicos sobre los elementos contundentes, así como también indicios no biológicos que se transferían desde los mismos hacia los tejidos.



Ilustración 40. Desprendimiento de pintura en el caño tras los impactos. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 41. Presencia de vestigios de pintura perteneciente al caño, hallados sobre el tejido blando tras los impactos. Fuente: elaboración propia.



Ilustraciones 42 y 43. Vestigios de humedad y tejido blando hallados en el palo de madera tras los impactos. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 44. Impresión sobre el tejido blando de la cara del martillo utilizado como elemento contundente tras los impactos. Fuente: elaboración propia.

Discusión de resultados

La experimentación permitió comprobar qué factores inciden en la producción de heridas contusas y de qué manera; a su vez, se verificó la posibilidad de relacionarlas con un determinado elemento causante. Los resultados demuestran que el análisis extrínseco de las características morfológicas de traumatismos craneo-encefálicos puede definirse, mayormente, como un examen orientativo ya que, en los casos estudiados, fue posible intuir un grupo de probables agentes efectores a partir de las llamadas “características de clase”, pero para corresponder la lesión con un objeto específico hacía falta hallar “características particulares” que fueran indicativas de un único elemento.

Es en estos casos en los que destaca la importancia de los indicios biológicos y no biológicos de interés criminalístico (fibras, pelos, restos sólidos) que surgen durante el momento del impacto en función del principio de transferencia, y contribuyen a la tarea de establecer una relación herida-instrumento-autor. En la práctica, esto se observó con el desprendimiento de pintura del caño utilizado para generar los golpes, así como la deformación del palo de madera y los vestigios de humedad y tejido blando que se hallaron tanto sobre su superficie como en la de la roca.

Por otro lado, se comprobó la influencia del tipo de elemento y el número de impactos, pero también la de otros factores que intervienen en la investigación del arma empleada. De esta manera, se determinó que la zona de impacto y el grosor del tejido blando en la misma, las dimensiones de los objetos, la distancia entre el agresor y la víctima, el sexo de la persona que ejerce el impacto, y la cantidad de energía transmitida, generan variaciones en la herida resultante a nivel óseo.

En primer lugar, se describirá lo observado en relación a factores intrínsecos, incluyendo la elasticidad del tejido óseo, el grosor del cuero cabelludo, las características del tejido blando, el estado del hueso (fresco o seco), y, en segundo lugar, lo referido a factores extrínsecos, como el tipo e intensidad de las fuerzas actuantes, área y número de impactos, características del agente efector (forma, dimensiones, material), posición de la víctima y sexo del atacante.

Factores intrínsecos

En cuanto a la zona de impacto se menciona que la rigidez del hueso no es igual en la totalidad del cráneo (Aso Escario, 2011), y debido a ello las lesiones resultantes variaron según el área que fue impactada. Asimismo, se destaca el espesor del cuero cabelludo como factor influyente (Sotelo Chávez, 2004); en la práctica, la mayor presencia de tejido blando

absorbía la energía transmitida con el golpe, confirmando lo dicho por Gómez Montero (2008) y Di Maio (2001) y, por ende, no se producían lesiones significativas.

Paralelamente, es importante destacar que el tejido óseo se encontraba fresco al momento de recibir los impactos debido a la presencia de tejido blando, distinguiéndose, de esta manera, de un traumatismo post mortem en el que el cráneo se encuentra en estado seco, es decir, sin piel y músculo que lo recubran, siendo más frágil y susceptible a los golpes como se explica en la bibliografía (Ramírez Restrepo, 2017). Por otro lado, se indica que la presencia de bordes elevados y lascas (fragmentos rotos aún adheridos al cráneo) es una característica propia de las lesiones peri-mortem (Kranjoti, 2015), pero estos no se presentaron a lo largo de la experimentación, lo cual puede vincularse con que no se produjeron fracturas de gravedad suficiente como para generar esos signos.

Factores extrínsecos

Las heridas fueron producidas por golpes que generaron traumatismos inmediatamente por debajo del punto de impacto, debido a la acción de objetos animados, particularmente de tipo obtusos, que actuaron transmitiendo la onda del golpe. Las fuerzas actuantes fueron principalmente de compresión, con cargas iguales y opuestas que actuaron sobre el tejido.

Considerando que las fuentes consultadas describen las cantidades de energía necesarias para vencer la resistencia del hueso en cada zona del cráneo (Negre Muñoz et al., 2013) y los golpes fueron generados, principalmente, sobre el hueso frontal y el hueso cigomático, la energía transmitida superó los 64,49 julios para el primero. Si bien no se conoce con exactitud la cantidad de energía necesaria para fracturar el hueso cigomático, se sabe que su resistencia es menor que la de otras partes del cráneo, lo cual explica por qué parte de las fracturas se dieron en dicha región.

La influencia del área de superficie de contacto se notó en las alteraciones dejadas por la roca, donde la superficie de contacto fue menor a 5 cm² ya que, como explica Aso Escario (2011), esto da lugar a una fractura deprimida, es decir, con hundimiento de los huesos del cráneo, sin ingresar a dicha cavidad.

Según Otero (2018), cuando se producen reiterados golpes sobre el tejido óseo, disminuye su resistencia, volviéndolo más vulnerable a próximos impactos, especialmente si se generan sobre el mismo punto. Esto pudo ser comprobado con la experimentación, porque cuando el hueso fue impactado dos o más veces, se hallaron heridas de mayor gravedad, incluyendo una fragmentación completa en el caso del caño y pérdida ósea tras los impactos generados con el martillo.

La bibliografía enuncia que la morfología y composición del objeto determina las características de la herida resultante (Negre Muñoz et al., 2013; Aso Escario, 2011), lo cual se comprobó con las diferentes marcas producidas por el palo y el martillo que permiten intuir el tipo de elemento efector. Las dimensiones de cada elemento, incluyendo su longitud, su peso, su forma y su material constituyente incidieron en el tipo de traumatismo generado. Esto también se pudo confirmar, por ejemplo, en el caso del martillo que daba lugar a un hundimiento cuya forma asimilaba su cara.

En investigaciones anteriores se describe que las lesiones varían según el movimiento que tenga la cabeza, afirmando que se producirán fracturas lineales o deprimidas de forma incompleta si esta puede moverse libremente, y fracturas por hundimiento si descansa contra una superficie sólida (Moritz, 1954, como se citó en Kranioti et al., 2018). Esto pudo ser verificado a partir de la construcción del andamiaje que permitió dotar a la cabeza de movimiento y el consecuente hallazgo de, mayormente, fracturas lineales y fisuras sobre el tejido óseo.

La distancia con respecto a las cabezas varió en algunos casos, principalmente cuando se dificultaba la manipulación del objeto para producir un impacto con suficiente fuerza. Si bien no es una cuestión abarcada por la bibliografía referida a traumatismos craneales, se deduce que es una circunstancia influyente en función de la cantidad de energía que logra transmitirse.

En relación, una variable que demostró incidir en la producción de traumatismos, fue el sexo del atacante, ya que la gravedad fue mayor cuando intervino la fuerza masculina, por encima de la femenina. De acuerdo a Zurita Pérez (2009), estudios anteriores encontraron que la fuerza de la parte superior del cuerpo en las mujeres es entre un 43 y 63% más débil que en el caso de los hombres, lo cual puede explicar esta circunstancia.

Conclusión

En función de lo anteriormente expuesto, se puede afirmar que hay una gran variedad de factores que influyen en el proceso de producción de lesiones traumáticas en el cráneo y sus características morfológicas resultantes, por lo que la determinación del objeto causante a partir del examen extrínseco de las mismas es una tarea compleja que no siempre tendrá resultados certeros.

Si bien este examen puede contribuir a dilucidar el tipo y cantidad de fuerza aplicada y el mecanismo de producción, no resulta fácil deducir las características del agente efector debido a las irregularidades de este tipo de heridas; esto se agrava en ausencia de lesiones patrón que reproduzcan la forma del instrumento utilizado.

Estas afirmaciones surgen a partir de la producción de traumatismos sobre 13 mitades de cabezas de cerdo empleando diferentes objetos contusos que, históricamente, han sido utilizados en casos de agresión, adquiriendo el rol de un arma; estos incluyen un martillo, un caño, un palo de madera y una roca. Para ello, se confeccionó un andamiaje sobre el cual se situaron las cabezas para simular el sostén de la columna vertebral y así recrear una escena de conflicto interpersonal. Se realizaron uno, dos y cuatro impactos con cada elemento, y luego se retiraron los tejidos blandos de las mismas para observar de qué manera se vio afectado el tejido óseo.

Los resultados variaron significativamente debido a la gran cantidad de factores que demostraron intervenir en el proceso. Estos incluyen circunstancias internas, como la elasticidad del tejido óseo, el grosor y las características del tejido blando (el cual representó al cuero cabelludo de una cabeza humana), el estado del hueso (que se encontraba fresco al momento de los golpes, distinguiéndose así de lo que ocurriría si se encontrara seco como en el estado post-mortem), y, circunstancias externas, como el tipo e intensidad de las fuerzas actuantes, área y número de impactos, características del agente efector (forma, dimensiones, material), posición de la víctima y sexo del atacante.

Las alteraciones óseas halladas fueron mayormente fisuras, fracturas simples de tipo lineal, depresiones, y marcas de diferentes formas y extensión.

En el caso del martillo, se observaron marcas y hundimientos cuya morfología reproducía aquella de la cara impactante del objeto, configurándose, así, como lesiones patrón, que simplifican la tarea de determinar el agente causante. Asimismo, se vieron cambios en la textura y la coloración del tejido óseo en el punto de impacto, y, con cuatro impactos, se generó una fractura simple lineal y otra con desprendimiento.

El caño dio lugar a fisuras, fracturas simples lineales, y depresiones irregulares de pequeño tamaño. Con un impacto, se produjo una laceración en el tejido blando, pero, debido a que éste absorbió la energía cinética actuante, el hueso no se vio afectado. El palo de madera, en todos los casos, dio lugar a marcas lineales de diferentes longitudes y leve profundidad. La morfología de las mismas se correspondía con el perfil del elemento, y la cantidad varió, naturalmente, según el número de impactos. Por último, la roca generó, mayormente, diferentes hundimientos de pequeña extensión y escasa profundidad como consecuencia de su forma irregular y sus puntas pronunciadas, pero también una marca lineal en el caso de cuatro impactos.

Teniendo estos hallazgos en cuenta, no se puede establecer como regla general que, a partir de un traumatismo a nivel óseo, se puede individualizar el elemento causante, ya que un mismo objeto puede producir diferentes tipos de lesiones en función de los múltiples factores intrínsecos y extrínsecos que intervienen, por lo que el examen solo es orientativo. Para simplificar la investigación criminalística se deben considerar otro tipo de vestigios de interés forense que permitan establecer una relación herida-instrumento-autor.

En la práctica, estos vestigios incluyeron restos de pintura perteneciente al caño empleado que se transfirieron al tejido blando, deformaciones en el palo de madera tras los impactos, y rastros de fluidos biológicos tanto sobre la superficie de este último como sobre la roca. La recolección y el posterior análisis de estos indicios resulta de vital importancia para la reconstrucción de la dinámica de los hechos y la individualización del agente efector.

Por todo ello, queda demostrado que cuando se trata de este tipo de lesiones, la tarea de identificar el elemento efector depende del trabajo interdisciplinario llevado a cabo por criminalistas, médicos forenses, antropólogos, analistas de laboratorio, entre otros, quienes recolectan los indicios de interés en el lugar del hecho, estudian las lesiones halladas en el cadáver, y analizan estos rastros de manera científica. Este trabajo es el que permitirá establecer de qué manera ocurrieron los sucesos en cuestión.

Queda expuesto que se cumplió el objetivo general del trabajo, así como los específicos, los cuales fueron enunciados en la introducción, y se logró dar respuesta al problema de investigación tras averiguar de qué manera las características morfológicas de los traumas producidos en el cráneo por el impacto de objetos contundentes permiten inferir el elemento causante.

La hipótesis fue comprobada parcialmente porque se planteó que en la totalidad de los casos se podría determinar el elemento causante de los traumatismos, pero esto sólo fue posible en escasas oportunidades. Esto se deduce tras notar que las heridas causadas en

este estudio pudieron relacionarse con los elementos utilizados, principalmente en el caso del martillo, el palo de madera y la roca, ya que estos eran conocidos; sin embargo, en escenarios forenses, sólo sería posible estimar de qué tipo de objeto se trata debido a las “características de clase”, pero para señalar un elemento en particular será necesario tener en cuenta otros indicios como, por ejemplo, los no biológicos.

Es importante mencionar que una limitación de este estudio es que, debido a la imposibilidad de realizarlo sobre un cráneo de origen humano en estado peri-mortem, fue efectuado sobre cabezas de porcinos, las cuales a pesar de las similitudes que presentan en cuanto a composición con las del ser humano, tienen una forma y dimensión considerablemente distinta y esto también incidió en los resultados de la experimentación.

En cuanto a futuras proyecciones de este trabajo, sería importante conocer los resultados que pueden obtenerse con cabezas enteras; además, podría estudiarse de manera más exhaustiva la diferencia entre impactos producidos por fuerzas masculina y femenina, así como también incluir en el estudio una mayor cantidad y variedad de objetos contusos y ampliar el número de impactos sobre el cráneo para conocer las consecuencias sobre el tejido óseo.

Finalmente, queda demostrado que el análisis de traumas contundentes sigue siendo una tarea desafiante para establecer relaciones entre herida-instrumento-autor, lo que incentiva a futuras investigaciones sobre esta temática ya que no hay gran cantidad de bibliografía a nivel internacional y nacional que facilite la interpretación de tales lesiones. La importancia de profundizar en su estudio radica en que son lesiones muy frecuentes en contextos forenses, por lo que su correcto análisis es fundamental para el esclarecimiento de la dinámica de los hechos investigados.

Bibliografía

1. Burns, Karen R. (2007). Manual de Antropología forense. Recuperado de: https://www.academia.edu/33020804/Karen_Ramey_Burns_Manual_de_Antropologia_Forenses_pdf
2. Clínica internacional (2020). ¿Cuál es la diferencia entre una fractura y una fisura ósea? Recuperado de: <https://www.clinicainternacional.com.pe/blog/conoce-diferencia-fractura-fisura-osea/>
3. Di Maio, V. J. M. (2001). *Forensic pathology*. Recuperado de: https://archive.org/details/Forensic_Pathology/page/n3/mode/2up?q=bone&view=theater
4. Endeavor Business Media (2008). *Death by Blunt Force Trauma*. Recuperado de: <https://www.officer.com/investigations/article/10249149/death-by-blunt-force-trauma>
5. Ferranti Daniel, H. et al. (2004). *Muerte debida a lesiones no jerarquizadas en los politraumatismos con lesiones predominantes en el cráneo*. Recuperado de: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-76062004000200004#:~:text=Los%20traumatismos%20de%20cr%C3%A1neo%20causan,d e%20la%20base%20del%20cr%C3%A1neo
6. Gómez Montero, H. (2010). *Correlación entre las lesiones presentes en los tejidos blandos y el tejido óseo*. (Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de: <https://docplayer.es/15570304-Universidad-nacional-de-colombia-facultad-de-ciencias-humanas-especializacion-en-antropologia-forense-bogota-d-c.html>
7. Kranioti, E. (2015). Forensic investigation of cranial injuries due to blunt force trauma: current best practice, *Dovepress*, 2015 (5), 25-37. DOI: <https://doi.org/10.2147/RRFMS.S70423>
8. Lagunas Rodríguez, Z. (2006). La antropología física forense, una especialidad necesaria. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 13(2), 211-217. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10413213>
9. López López, A. (2014). *Estudio de los Traumatismos Peri-mortem en los restos exhumados de las fosas comunes de la Guerra Civil Española*. (Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Barcelona). Recuperado de: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2014/131616/TFG_andrealopez.pdf

10. Marieb, Elaine N. (2008). *Anatomía y fisiología humana*. Recuperado de: [https://ifssa.edu.ar/ifssavirtual/cms/files/LIBRO%20FSSA%20Anatomia.y.Fisiologia.Humana.Marieb%209aed.%20\(1\).pdf](https://ifssa.edu.ar/ifssavirtual/cms/files/LIBRO%20FSSA%20Anatomia.y.Fisiologia.Humana.Marieb%209aed.%20(1).pdf)
11. Morales, M. L. (Ed.). (2009). *Identificación de cadáveres en la práctica forense*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Medicina legal y Ciencias forenses. Recuperado de: <https://docplayer.es/7755853-Identificacion-de-cadaveres-en-la-practica-forense.html>
12. Moreno, F., Rodríguez, G. J., & Díaz M. (2018). *Características tecnológicas de las dos capas de tocino del cerdo*. Recuperado de: <https://ridaa.unicen.edu.ar:8443/server/api/core/bitstreams/140a822a-a992-4574-8394-d3da2f0f2d88/content>
13. Negre Muñoz, M. C., Bermejo Pérez, M. & Bosquet Pastor, S. (2013). *Homicidio por traumatismo craneoencefálico: importancia de los indicios no biológicos*. Recuperado de: https://www.uv.es/gicf/5C2_Negre_GICF_07.pdf
14. Otero, F. (2018). *Análisis de traumas óseos por armas contundentes: una aproximación experimental*. (Trabajo de grado). Recuperado de: https://www.academia.edu/41329704/AN%C3%81LISIS_DE_TRAUMAS_%C3%93SEOS_POR_ARMAS_CONTUNDENTES_UNA_APROXIMACI%C3%93N_EXPERIMENTAL
15. Palomo Rando, J. L. et al. (2008). Patología forense y neurología asociada de los traumatismos craneoencefálicos. *Cuadernos de Medicina Forense*, 14(52), 87-118. Recuperado de: <https://scielo.isciii.es/pdf/cmfn52/articulo1.pdf>
16. Patitó, J. A. (2000). *Medicina legal*. Recuperado de: [http://evirtual.uaslp.mx/FMed/Documentos%20compartidos/patito,%20jose%20angel%20-%20medicina%20legal\(2\).pdf](http://evirtual.uaslp.mx/FMed/Documentos%20compartidos/patito,%20jose%20angel%20-%20medicina%20legal(2).pdf)
17. Ramírez Restrepo, S. M. (2017). *Características de las variables que intervienen en el trauma por objeto contundente*. (Trabajo de grado, Universidad de Antioquia). Recuperado de: http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/14215/1/RamirezSandra_2017_CaracteristicasVariablesIntervienen.pdf
18. Ruchonnet, A. et al. (2019). Cranial blunt force trauma in relation to the victim's position: An experimental study using polyurethane bone spheres. *Forensic science international*, 2019(301), 350-357. DOI:10.1016/j.forsciint.2019.05.051

19. Sotelo Chávez, A. G. (2004). *Aplicaciones del Colgajo Coronal en Traumatología Maxilo Facial Hospital Militar Central*. Recuperado de: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/salud/sotelo_cha/Cap2.pdf

20. Vargas Sanabria, M. (2014). *Abordaje del Trauma Cráneo Encefálico en Patología Forense*. Recuperado de: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152014000200007

21. Zurita Pérez, R. (2009). Diferencias significativas entre el hombre y la mujer deportista en cuanto a la capacidad de rendimiento deportivo. *Innovación y experiencias educativas*, 2009(17). Recuperado de: https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_17/REBECA_ZURITA_PEREZ_2.pdf

