

BIOMECANICA Y FISIOPATOLOGIA DE LOS PROYECTILES SOBRE LAS ESTRUCTURAS CRANEO-MAXILO-FACIALES

PALABRA CLAVE: proyectiles, biomecánica.
KEY WORDS: Missile, biomechanic

Autor: Cap. (O) Dr. Silvio Scardovi (*)

RESUMEN

Se han tomado en cuenta los factores más importantes al planificar el tratamiento quirúrgico para determinar semiológicamente si las heridas son producidas por misiles de gran velocidad o escasa velocidad en su trayectoria considerando la cantidad de energía cinética liberada y las características del propio misil.

Se destaca la importancia de una buena semiología quirúrgica al determinar las características de los orificios de entrada y particularmente de los orificios de salida. Cuando el orificio de salida se presenta, nos estamos manejando con una herida de misil de gran velocidad. Como resultado de la penetración del misil los tejidos se desplazan. Se produce una cavidad temporaria que genera presiones negativas. Por el contrario, durante el colapso que se produce inmediatamente después, se generan mayores presiones positivas que negativas.

Sin embargo, las presiones negativas indirectamente producen más daño dependiendo de la contextura y elasticidad de los tejidos.

SUMMARY

It is important in order to plan surgical treatment to determine semeiologically whether the lesions are produced by high velocity or low velocity missiles, considering the amount of kinetic energy liberated and characteristics of the missile itself.

(*) *Asist. de Clínica Quirúrgica 2º*
Fac. de Odontología (Montevideo)
Jefe del Serv. Cirug. B.M.F.
Dpto. Odont. de la D.N.S.FF.AA.

The importance of a good surgical semeiology determining characteristics of entrance holes and particularly of exit holes is emphasized. When the exit hole is present, we are dealing with a high velocity missile wound. As a result of the penetration of the missile the tissues are mobilized. A temporary cavity is produced generating negative pressures. On the contrary, during the collapse which follows immediately positive pressures higher than negatives ones are generated. Nevertheless, the negative pressures produce more indirect damage depending of the contexture and elasticity of tissues.

RESUME

Pour planifier un traitement chirurgical, il est important de déterminer si les blessures sont produites à cause de la grande vitesse ou petite vitesse des missiles compte tenu de la quantité d'énergie cinétique libérée et les caractéristiques du missile. On souligne l'importance d'une bonne sémiologie chirurgicale pour déterminer les caractéristiques des orifices d'entrée et particulièrement les orifices de sortie.

Quand l'orifice de sortie, se présente, nous sommes en train de manier avec une blessure de missile à grande vitesse. Le résultat de la pénétration du missile donne le déplacement des tissus. Se produit, une cavité temporaire que entraînera des pressions négatives. Au contraire, pendant l'effondrement qui se produit immédiatement après, il y aura des pressions plus fortes positives que négatives.

Cependant, les pressions négatives produisent indirectement, plus de dommage dépendant

de la texture et de l'élasticité des tissus.

INTRODUCCION

Las lesiones por proyectiles de "armas de fuego" sobre los territorios cráneo-maxilo-faciales tiene características patognomónicas no sólo por la complejidad de las estructuras anatómicas y la propia naturaleza del tejido sobre el cual se desplaza el proyectil, sino también por la acción agresiva específica del factor injuriante: "los proyectiles".

Se describirán en este trabajo las características inherentes al "proyectil", su biomecánica y su incidencia sobre los territorios mencionados.

DESARROLLO DEL TEMA

En las lesiones por proyectiles de armas de fuego a la acción del proyectil principal se le suman los llamados "proyectiles secundarios", formados y/o derivados del choque de la bala contra objetos duros interpuestos en su recorrido extratrisular o intratrisular, tales como mamopostería, ropas, prótesis, dientes, huesos, etc., que acompañan al proyectil primario en su desplazamiento, por recibir del mismo parte de su energía cinética. Este "conjunto de proyectiles" sobre el territorio cráneo-maxilo-facial ocasionan serias lesiones, pudiendo incluso alojarse y/o desplazarse al interior de las cavidades craneana, nasal, bucal, auditiva y oftálmica con graves repercusiones en sus contenidos. (Fig. 2.c.)

Para que ocurran los fenómenos biodestructivos del proyectil primario, el mismo debe estar dotado de una cantidad de energía cinética determinada por leyes biofísicas o biomecánicas específicas y que se transmite, como ya describimos, a los proyectiles secundarios generados en su choque. Si la citada energía es baja, la penetración será superficial, sin formación de proyectiles secundarios y el efecto a nivel óseo puede ser una deformación (Fig. 1.b) localizada sin perforación o una simple impactación ósea sin deformación.

Los factores que inciden sobre la dimensión y severidad de las lesiones balísticas serán esque-

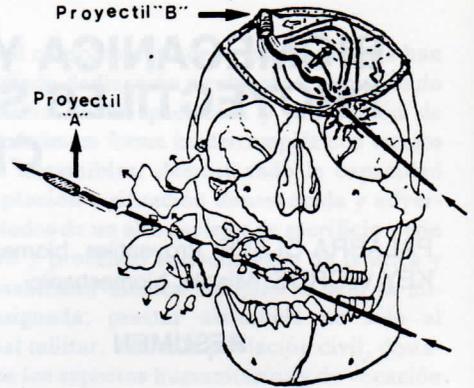


Fig. 1.

1.a: Con el proyectil "A" de alta velocidad se producen las fracturas conminutas, los proyectiles 2rios. y la salida de la bala del individuo aún con una alta carga de energía cinética.

1.b: Con "B" se observa el orificio de penetración ósea en techo de órbita y el trayecto "zigzagueante" del proyectil generando "ondas de propagación" y "rebote" en las estructuras duras de cráneo, con lo que aumenta la mortificación encefálica. La munición agota su energía impactándose y deformando el hueso sin orificio de salida.

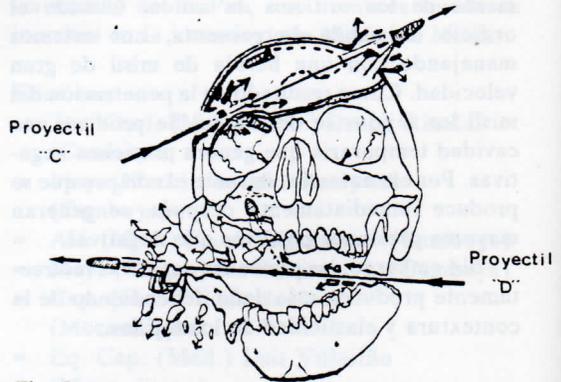


Fig. 2.

2.c: El proyectil "C" puede penetrar a endocráneo y tener diferentes recorridos según su energía cinética, tejidos interpuestos, planos óseos, etc.; en este caso hay dos trayectos que agotan su energía y se alojan en endocráneo y cavidad oftálmica. Otra posibilidad si conserva energía suficiente es que salga de endocráneo por un gran orificio óseo en comparación con el orificio de entrada.

2.d: Este proyectil "D" provoca la fractura del maxilar inferior en su entrada, puede desviarse y agotar su energía dentro del Seno Maxilar, o seguir a gran velocidad con proyectiles secundarios ocasionando un gran orificio de salida (conminutas) en el lado opuesto

matizados en cinco grupos fundamentales que a continuación se describirán conjuntamente con las injurias causadas por los proyectiles en el área maxilo-facio-craneal y por último las particularidades de los orificios balísticos de entrada y salida.

A) Factores de incidencia en el tamaño y severidad de las lesiones.

- 1- Velocidad del proyectil.
- 2- Naturaleza y características del proyectil.
- 3- Trayectoria y desplazamiento.
- 4- Posición del sujeto en el momento del impacto.
- 5- Distancia sujeto-boca del arma.

1- Velocidad del proyectil.

La acción o capacidad destructiva de cada proyectil resulta principalmente de su **velocidad** (4)(8)(10)(11)(13) y menos de su masa o calibre según surge de la fórmula de la energía cinética: $E_c = \frac{a.M.V^2}{2}$, que para el caso especial de los

proyectiles se formula: $E_c = \frac{M.V^2}{2a}$ donde "a"

corresponde a la fuerza de la gravedad. De la fórmula que antecede se deduce fácilmente que la velocidad es el factor más importante en la producción de la energía cinética liberada, y por ende del poder destructivo. Debido a esto se ha visto un incremento de las velocidades de los proyectiles, siendo 700 m/seg. la velocidad promedio de los fusiles en la 1ra. guerra Mundial, mientras que en la 2da. guerra Mundial ya alcanzaban los 1.200 m/seg. (1).

Otro factor deletéreo es la demostrada existencia de una "cavidad cinética temporal" alrededor del curso del proyectil que puede exceder hasta treinta veces el diámetro del mismo. El volumen de la cavidad mencionada está en relación directa con la energía liberada, la cual a su vez también depende de la velocidad del proyectil y no de su calibre o masa. La cavidad cinética puede llegar a determinarse mediante la siguiente fórmula:

$$E_c = 1/2 (m. v_i^2 + l.w^2)$$

Siendo: v_i = velocidad inicial
 l = un factor geométrico llamado "momento de inercia" que depende del reparto de las masas del proyectil.
 w = velocidad angular.

La realización de este cálculo podría dar una idea de la dimensión de la mortificación que pueden sufrir los tejidos blandos de los territorios cráneo-maxilo-faciales y por sobre todo cuando estén encerrados en cavidades óseas inextensibles como por ejemplo el globo ocular y el encéfalo (2)(3)(10). En el caso del encéfalo existe una verdadera compresión encefálica desde el "túnel balístico" (que labra el proyectil en su recorrido) contra las estructuras osteo-tendinosas inextensibles seguida inmediatamente por un fenómeno de cavitación y turbulencia (que dura unas fracciones de segundo) con estallido de los tejidos, vasos capilares y venosos (soportando las arterias bastante bien esta situación) (4) con expansión de los gases disueltos en la sangre y extravasación hemática. Fracciones de segundo después la cavidad cinética temporal se colapsa por desplome de sus paredes. Además de la cavidad cinética que sigue el curso de la bala, en el caso del encéfalo, fundamentalmente por tener una consistencia semi-fluída, aparece la formación y propagación de ondas de desplazamiento cuyo centro es justamente el proyectil y que se van superponiendo justamente con el avance del mismo, a semejanza de lo que ocurre cuando avanza una lancha en el agua (Fig. 1.b). La longitud de las ondas así producidas están en relación con la velocidad de la bala: a mayor velocidad menor longitud de onda y viceversa, a menor velocidad, mayor longitud de onda. Estas ondas al chocar con las estructuras óseas y ligamentosas del cráneo se reflejan y rebotan sumándose algebraicamente con las subsiguientes (11). Cuanto menor sea la longitud de las ondas así provocadas, es decir, cuanto más rápido es el proyectil, mayores son las injurias por las deformaciones arquitectónicas que allí se producen.

2- Naturaleza y características del proyectil.

Este factor condiciona diferentes modalidades de lesiones clínicas. La naturaleza de los proyectiles (13) esquemáticamente podemos clasificarla en tres tipos:

- a) **De Fragmentación:** granadas, morteros, bombas, etc.
- b) **Balísticos:** balas de fusil, armas cortas, etc.
- c) **A Munición:** armas de caza accionadas con cartuchos (escopetas).

Los del tipo de fragmentación son proyectiles de formas irregulares y de baja velocidad, por lo que ocasionan heridas desgarradas en todos los tejidos blandos faciales, muchas veces con importantes pérdidas de sustancia. Las fracturas del esqueleto fascio-mandibular pueden presentar groseros desplazamientos, no encontrándose orificios de salida. Generalmente la onda explosiva compromete mucho el estado general de los pacientes.

El segundo tipo estaba constituido por las balas de armas cortas o similares, son proyectiles pequeños y animados por una gran velocidad. Producen un orificio de entrada, salida y grandes lesiones intermedias. El orificio de entrada en los tegumentos es pequeño y redondeado, pero el orificio de salida es más amplio, desgarrado y anfractuoso debido fundamentalmente a los proyectiles secundarios, que pueden estar constituidos no sólo por esquirlas óseas, sino también por dientes y/o elementos protéticos que casi siempre están presentes en la región.

Cabe acotar que los proyectiles no encamisados pierden buena parte de su energía cinética en deformación y fragmentación, lo que le resta poder de penetración, pudiendo ser detenido por los tejidos y no observarse orificio de salida, quedando alojado en los tejidos, seno maxilar, cavidad oftálmica, endocráneo, etc. (Fig. 1.b; 2.c y 2.d).

Como hemos visto el calibre o masa no tiene mayor significación. No obstante, a la igualdad de masa se ha agregado un elemento que es el encamisamiento o blindaje, que le permite al proyectil menor deformación al realizar el impacto óseo.

El último tipo de proyectiles: a munición, dan heridas sumamente características, con un gran orificio de entrada, abundante pérdida de tejidos blandos y duros sin orificios de salida debido a que las municiones presentan muy poca masa, tienen menor velocidad y por ende son rápidamente detenidas por los tejidos en una amplia superficie frontal. Cuando actúan sobre el rostro dejan grandes secuelas funcionales y estéticas.

3- Trayectoria y desplazamiento luego del impacto de entrada.

Las diferentes densidades y espesor de los tejidos involucrados (mucosa, músculos, aponeurosis, hueso, etc.) afectan el curso rectilíneo del proyectil, transformándolo en un desplazamiento angulado; similar al efecto ocurre si el proyectil proviene de un "rebote", en cuyo caso el trayecto es groseramente zigzagueante, produciendo lesiones en los tejidos blandos faciales mucho más considerables que un proyectil con curso estable.

4- Posición del sujeto en el momento del impacto.

La posición del sujeto en el momento que recibe el impacto balístico puede llegar a condicionar:

- a) La no penetración.
- b) La penetración con rebote y ulterior desvío fuera de la cabeza.
- c) La penetración y desplazamiento hacia determinadas zonas que pueden ser vitales, aunque en los territorios craneo-maxilo-faciales generalmente los desplazamientos del proyectil se ven modificados por las diferentes características de los tejidos interpuestos: huesos delgados y compactos, dientes y elementos protéticos.

5 - Distancia del sujeto-boca del arma.

Del estudio realizado en modelos de gelatina y fundamentalmente de las estadísticas interna-

cionales en los casos de suicidas, donde la boca del arma está en contacto directo con el cráneo, se comprueba que las lesiones de los tejidos cráneo-maxilo-faciales son de menor cuantía que cuando el disparo se realiza a varios metros. Si la distancia es muy extrema evidentemente el proyectil habrá perdido su energía cinética y al penetrar en el individuo prácticamente no provocará mayores daños; pero si la distancia no es muy grande como para que la bala en su recorrido pierda mucha velocidad y por ende energía cinética, ocurrirá que las ligeras deformaciones y desigualdad de peso del proyectil, hacen que su movimiento de rotación "colée", es decir, que se torne "zigzagueante" y la acción de este movimiento compuesto provoque lesiones tisulares mayores. (Fig. 1.b)

Los únicos proyectiles que provocan mayores destrucciones a corta distancia son las municiones (perdigonadas) por la gran superficie que abarcan en conjunto, dispersándose en abanico a los pocos centímetros o metros.

B) Injurias de los proyectiles en la zona cráneo-maxilo-facial sobre los tejidos: vascular, nervioso y óseo.

Independientemente de los daños causados por el tipo de proyectil (primario o secundario, de alta o baja velocidad), existe la injuria directa a los vasos arteriales o venosos de los territorios en estudio que pueden agregar graves hemorragias al daño tisular constituido. En el cráneo tienen especial significación los vasos fijos y rígidos de los grandes senos endocraneos (6) cuya lesión crea condiciones para importantes hematomas extra y subdurales. Otro tanto puede decirse de las zonas maxilo-faciales cuando existe compromiso de zonas como el plexo pterigoideo, vasos faciales, maxilar interna, etc., que ponen en peligro al paciente por una disminución brusca de la volemia (7) (8) (9) (12) (13) (14).

Los hematomas intracraneos (1) (6) (10) constituyen casi siempre una complicación traumática inmediata, y en general se distinguen las siguientes localizaciones:

a) Extradural de origen diploico o sinusal.

b) Sub dural, de origen sinusal, o de importantes venas corticales o secundarios a un hematoma intracerebral.

c) Intracerebral: es el más frecuente. Los proyectiles de baja velocidad o que han perdido velocidad en su recorrido van dejando un túnel o trayecto en el cual se constituye el hematoma que no tiene mayor significación cuantitativa, excepto que haya ruptura de venas corticales asociadas por la acción de proyectiles primarios o secundarios. Cuando el proyectil es de alta velocidad, si reviste gran importancia y gravedad, porque el hematoma no sólo resulta por la ruptura de esas venas corticales, sino especialmente por el resultado de la "cavidad cinética temporal" con el consecuente estallido de las estructuras capilares, venosas, tejido cerebral, etc., ayudando en todo esto también la expansión de los gases disueltos en la sangre. El pronóstico de este hematoma también se agrava cuando se trata de un proyectil perforante (no penetrante), es decir sin orificio de salida. La existencia de un orificio de salida, constituido por una brecha relativamente ancha, crearía condiciones más favorables para la salida al exterior del contenido hemático y del tejido cerebral desvitalizado que fluye por el orificio de salida de la bala.

d) Combinados: los hematomas combinados balísticos son frecuentes, sobre todo la asociación de un intracerebral con un subdural, adquiriendo mayor gravedad cuando se constituye en el hemisferio contralateral al de la entrada, debido a que el proyectil ha agotado su energía cinética y no ha alcanzado a labrarse una brecha de salida.

Con respecto al territorio netamente óseo del esqueleto craneofacial, los proyectiles de alta velocidad crean fracturas conminutas con gran pérdida de sustancia y grandes desplazamientos de proyectiles secundarios en los tejidos blandos. La característica de la fragmentación ósea será descrita con mayores detalles al describir los orificios de entrada-salida del proyectil. La forma anatómica ósea muchas veces modifica el recorrido de los proyectiles cuando están perdiendo su energía cinética y corren varios centímetros paralelamente a los planos óseos, por ejemplo en endocráneo pueden llegar a describir una verdadera circunferencia si siguen

el plano óseo interno luego de haber perforado ambas corticales. (Fig. 2.c.)

Por último señalaremos que acción directa de los proyectiles sobre el globo ocular puede causar el estallido y/o el vaciamiento; y esa acción también aplicada sobre filetes y troncos nerviosos, ocasiona seccionamientos y traumatismos que se traducen clínicamente por anestias, parestesias, y parálisis, según las ramas afectadas.

c) Particularidades de los orificios balísticos (entrada-salida) sobre tegumentos y huesos.

El grado de las lesiones encefálicas como vimos anteriormente, depende fundamentalmente de la velocidad del proyectil como para que haya alcanzado o no, a salir del endocráneo, surgiendo de ello comúnmente, la conducta conservadora o intervencionista, a diferencia de las lesiones maxilo faciales que casi siempre requieren un tratamiento quirúrgico (7) (9) (12) (13) (14). Debido a esto es importante distinguir semiológicamente los caracteres de los orificios de entrada y salida de cada uno de los proyectiles.

I) Orificio de entrada: es siempre constante, puede estar enmascarado por orificios naturales pre-existentes: orbital, nasal, oral y auditivo. Estos orificios a nivel tegumentario no tienen marcada diferencia en proyectiles de alta o baja velocidad, excepto las diferencias ocasionales en el calibre, siendo una constante siempre el menor diámetro del orificio con respecto al calibre de la bala. En los disparos realizados a escasos centímetros, la herida ofrece aspecto desgarrado por los fenómenos expansivos de los gases de la pólvora que penetran por la brecha acto seguido al proyectil, de no ser así el orificio de entrada, reiteramos, es siempre pequeño, redondeado y de bordes relativamente nítidos.

Marcadas diferencias pueden encontrarse a nivel óseo, ya que los orificios dependen de las características y espesor del hueso en el lugar de la penetración. En los huesos delgados o papiráceos (pared sinusal, piso de órbita, fosas nasales,

etc.) casi no se individualizan proyectiles secundarios con los proyectiles de baja velocidad que no tienen energía mas que para atravesar este tipo de huesos y dejan un orificio bastante nítido, muchas veces totalmente obliterado por los tejidos blandos. En los huesos compactos los proyectiles de alta velocidad provocan más que un orificio, un estallido óseo con trazos de fractura que parten más o menos radialmente del orificio principal, el cual (Fig. 1.b) está deformado por la segmentación del hueso que se convierte también en proyectiles secundarios siguiendo unos milímetros a centímetros al proyectil primario. Estos fragmentos están formados por todo el espesor del hueso (tabla externa, medular y tabla interna) pero la mayor participación siempre es de la tabla interna.

La naturaleza de los proyectiles (balas, granadas, municiones, etc.) también determinan orificios de entrada patognomónicos como ya fue someramente expuesto al describir la "naturaleza de los proyectiles" (A-2).

II) Orificio de salida: Es inconstante, puede existir o no, otras veces el orificio existe y no se visualiza por quedar en una cavidad, por ejemplo suelto en la boca, en las fosas nasales e incluso dentro del seno maxilar donde puede provocar al tiempo una sinusitis crónica "a cuerpo extraño". (Fig. 2.d)

Con los proyectiles de alta velocidad la brecha de salida es muy amplia, tanto mayor, cuanto más zigzagueante es el recorrido del mismo, siendo más pequeño en los de baja velocidad o de alta que han perdido mucha velocidad atravesando algún hueso delgado.

Los altos tenores de energía cinética como ya se describió provocan groseras lesiones de los tejidos blandos y en las estructuras intracraneanas además de dilaceraciones del encéfalo y duramadre, los segmentos óseos son de gran volumen y móviles encontrándose casi siempre desprendidos del periostio a la manera de un "scalp" localizado en el orificio de salida; ello se debe a que con la energía liberada se labra una cavidad entre el periostio y el hueso. (Fig. 2.c)

Cuando orificios de entrada-salida de un proyectil "de alta" están muy cerca o próximos, los trazos fracturados se "anastomosan" entre sí,

constituyendo desde el punto de vista óseo, una herida prácticamente única.

Otro factor a tener en cuenta es que muchas veces la brecha de salida simula ser menor a la inspección visual, debido al desplome de los fragmentos óseos al lugar original (que caen a modo de "tapa"); sólo la exploración digital y la radiografía nos puede indicar la magnitud real de la brecha de salida así como el tamaño y movilidad de los fragmentos óseos.

BIBLIOGRAFIA

- 1) BARNETT, J.C.: Neurological Surgery of Trauma. Office of the Surgeon General. Dep. of Army Washington. D.C.; 1965: 131-134.
- 2) CORTELEZZI, C.; BENJAMIN, R. y MAYO F.: Actas y trabajos del XIV Congreso Latino Americano de Neurocirugía. Montevideo. R.O.U. 1971: 331-334.
- 3) FRUGONI, R.; ARA, C.A. y GONZALEZ TOLEDO E.: Actas y trabajos de XIV Congreso Lat. Americano de Neurocirugía. Montevideo. R.O.U. 1971: 335-338.
- 4) GOLLER, W.; CASTIGLIONI, J.; y col.: Heridas arteriales de los miembros producidas por proyectiles de armas de fuego. Rev. del S.S.FF.AA., Montevideo, R.O.U.; Vol. 1 (Nº 1); 3; 1973.
- 5) GRUN, S.; MALO, J.; Heridas causadas por proyectiles de armas de fuego. Cinco años de experiencia. Rev. del S.S.FF.AA. Montevideo, R.O.U.; Vol. 14 (2):24:1991.
- 6) GURDJIAN, E.S.; THOMAS, L.M.: Operative Neurosurgery. Ed. Williams and Wilkins. Baltimore; 1970.
- 7) KELSEY Fry, W. y col.: The Dental Treatment of Maxilo-Facial Injuries. Ed. Blackwell, 1943.
- 8) KURGER, G.O.: Textbook of Oral Surgery. Ed. Mosby, 1964.
- 9) KAZANJIAN, V.A.; CONVERSE, J.M.: The Surgical Treatment of Facial Injuries. Ed. Williams and Wilkins Company. 1949.
- 10) MEIROWKSY, A.: Neurological Surgery of Trauma. Office of the Surgeon General. Dep. of Army. Washington. D.C. 1965: 103-130.
- 11) MAISTEGUI, A.; SABATO, J.: Introducción a la física. Tomo 1-2. Ed. Kapelusz. Argentina. 1972.
- 12) NEGRIN, G.; COLOMBO, M.; BANCHIERI, M.; SCARRONE, M.: Tratamiento de las heridas maxilo-faciales por armas de fuego. Rev. del S.S.FF.AA., Montevideo, R.O.U.; Vol. 3 (Nº2): 67; 1975.
- 13) ORIBE, J.A.: Cirugía Maxilo-Facial. Ed. López Libreros Editores. Argentina, 1978.
- 14) ROWE, N.L.; KILLEY, H.C.: Cirugía y ortopedia de cara y cabeza. Ed. Bibliográfica Argentina. 1958.