



Evolución de las prótesis a través de la historia

MT Carrascal-Morillo¹, C García-García¹, A Bustos-Caballero¹, JT Castell-Gómez²

¹ MAQLAB, Departamento de Mecánica, Universidad Nacional de Educación a Distancia, mcarrascal@ind.uned.es, cgarcia1361@alumno.uned.es, albustos@ind.uned.es

² Departamento de Cirugía, H. La Luz, Madrid, castellgomez@gmail.com

La evolución de las prótesis a lo largo del tiempo es larga y está plagada de historias, desde las piezas rudimentarias de sus comienzos primitivos, hasta las sofisticadas y funcionales prótesis de la actualidad. Los historiadores no saben a ciencia cierta si las primeras prótesis fueron funcionales o meramente ornamentales, ya que el concepto de la integridad humana ha cambiado en las culturas a lo largo del tiempo. Una prótesis es un elemento mecánico desarrollado con el fin de mejorar o reemplazar una función, una parte o un miembro completo del cuerpo humano afectado. Por tanto, una prótesis para el paciente, y en particular para el amputado, refuerza su desarrollo psicológico, creando una percepción de totalidad al recobrar la movilidad y el aspecto. El avance en el diseño de las prótesis ha estado ligado directamente con el desarrollo de nuevos materiales, nuevas tecnologías y el mejor entendimiento de la biomecánica del cuerpo humano. Las prótesis más antiguas que se conocen provienen del Antiguo Egipto, entre 2700 y 3400 años A.C. Los primeros materiales utilizados fueron el lino, la madera y el cuero, y en épocas posteriores hasta el renacimiento, la madera y el cuero se reforzaba con hierro o cobre. La gran evolución de las prótesis en la cirugía la realizó el médico Ambroise Paré en el siglo XVI, quien desarrolló nuevas prótesis articuladas con control de bloqueo. En los siguientes siglos los nuevos sistemas de cirugía y el desarrollo de nuevos materiales ha hecho que las prótesis hayan evolucionado más rápidamente. En la actualidad, el uso de los microprocesadores, los chips informáticos y la robótica ha posibilitado que las nuevas prótesis conecten con los músculos y los nervios haciendo que los amputados recuperen su estilo de vida y puedan ejecutar cualquier acción de la vida diaria proporcionándoseles una funcionalidad impensable. En este trabajo se presenta una recopilación de dispositivos que pretende mostrar la evolución que han sufrido las prótesis a lo largo de la Historia, tanto en su diseño como en los materiales empleados para su fabricación.

1. Introducción

Desde que el hombre existe sobre la superficie de la Tierra ha padecido enfermedades. Basta el hecho de que todos los seres vivos puedan enfermar para admitir sin la menor vacilación el aserto precedente, pero ¿cómo se enfrentó el hombre prehistórico con la realidad de sus afecciones patológicas? No lo sabemos. Frente a ese enigma, podemos extrapolar a la prehistoria lo que hoy hacen los grupos humanos cuya vida más se aproxima a la del hombre prehistórico. Es seguro que en la prehistoria se practicó la reducción de ciertas fracturas entablillando el miembro afectado, ya que el hombre primitivo estaba expuesto a traumatismos y supo adaptarse a sus condiciones de vida y a los materiales que utilizaba, como lo demuestran los restos de huesos fracturados y consolidados prehistóricos, que sin duda deberían haber requerido un tratamiento ortopédico. Ahora bien, en el conjunto de los pueblos que existieron entre los años 10.000 y 5.000 a.C. algunos siguieron progresando en la medicina como las culturas arcaicas y antiguas: sumeria, asirio-babilónica, egipcia, china, irania, india, japonesa, israelita, prehelénica, etc., y otros cuyo progreso, aun siendo real, fue mínimo, o casi nulo [1]. El avance en el diseño de las prótesis ha estado ligado directamente con el uso de los materiales empleados, así como en el desarrollo tecnológico y en el entendimiento de la biomecánica del cuerpo humano. Las prótesis mejoran la calidad de vida de las personas que han perdido alguna extremidad al proporcionar movimiento e independencia. En un principio, era incómodo usar prótesis, pero esos dispositivos le han ayudado a la gente a volver a trabajar y colaborar con su desarrollo psicológico [2]. Cada pueblo ha seguido su ruta y en este pequeño estudio vamos a estudiar su recorrido por la historia

2. Mesopotamia

En la cultura mesopotámica los conocimientos médicos anatomofisiológicos fueron elementales y toscos. La enfermedad se consideraba como un castigo divino, el sanador tenía carácter sacerdotal y el enfermo se veía como un excomulgado por impureza moral. Sin embargo, el sanador asirio recurría al tratamiento con plantas y a la intervención quirúrgica. En la Figura 1 se muestra el documento médico más antiguo conocido, la tablilla cuneiforme de Nippur del 2.100 a.C. encontrada en Nínive. La práctica quirúrgica poseía un sello teúrgico conectada con la astrología y regulada por leyes bien definidas que conocemos por el “Código de Hammurabi” (s. XVIII a.C.). Reducir fracturas, abrir abscesos o curar heridas eran considerados trabajos manuales y se menospreciaban frente a adivinos, exorcistas y drogueros, que se entendían con la divinidad [3–5].



Figura 1: Tablilla de Nipur

3. Egipto

En el antiguo Egipto, la medicina tuvo un largo recorrido de casi 3.000 años y, desde una perspectiva general y conforme a las fuentes que se manejan, reviste cierto aspecto mágico, pero, a la vez, cuenta con “un fondo válido de conocimiento y práctica serios”. Las prótesis más antiguas que se conocen son dos dedos de los pies, artificiales y distintos, provenientes del antiguo Egipto cuyo origen se remonta a 3.000 a.C. Sin embargo, los historiadores como Roy Porter Paul Ghalioungui y otros, no saben a ciencia cierta si eran funcionales o de adorno. No obstante, la investigación realizada por la doctora Jacky Finch, de la Universidad de Manchester, sobre los dedos de los pies artificiales expuestos en el Museo Británico de Londres, ha demostrado que los dedos de pie de madera no fueron añadidos simplemente como restos funerarios, sino que las prótesis encontradas se utilizaban realmente para caminar. Uno de ellos perteneció a Tabaketenmut (entre el 950 y el 710 a.C.), hija de un sacerdote egipcio. Al

parecer Tabaketenmut perdió su extremidad como consecuencia de una diabetes que le causó gangrena isquémica. En este caso el dedo estaba construido usando tres piezas unidas, dos de madera y la tercera posiblemente de cuero. Mediante el uso de distintos agujeros y a través de complejas técnicas, difíciles de reproducir incluso hoy día, se unen las dos partes. La prótesis que diseñó un artesano con buenos conocimientos en fisionomía humana ayudaba a caminar a su propietaria y los investigadores comprobaron que el dedo del pie de madera fue reajustado varias veces al pie. El otro, conocido como el “dedo del pie de Greville Chester” (ver Figura 2), encontrado cerca de Luxor, fue construido de forma artesanal utilizando como material una especie de cartonaje unido con lino y pegamento extraído de animales, recubierto con yeso teñido [5–7]. Los restos datan del 600 a.C. Se cree que es la más antigua extremidad artificial de uso práctico por causa de su flexibilidad y porque se le readaptó al usuario varias veces [2–4,8]. El estudio ha sido realizado por expertos del Museo Egipcio de El Cairo y el Instituto de Medicina Evolutiva de la Universidad de Zúrich. Para saber si estas prótesis primitivas fueron o no utilizadas en su día para andar, la doctora Finch realizó réplicas de prótesis en su laboratorio y buscó a dos voluntarios que habían perdido el dedo gordo del pie derecho para que pudieran probar su funcionalidad. Se demostró que el material utilizado soportaba el peso del cuerpo y su uso, el tamaño y la apariencia era similar a un dedo real. Además, a los dos voluntarios con réplicas de sandalias egipcias, se le aplicaron técnicas de marcha con cámaras integradas y dispositivos de presión a lo largo del trayecto, para asegurarse que no forzaba a otras partes del pie y que podían caminar bien. Por tanto, podemos considerar que estos dos dedos artificiales de pies, colocados en antiguas momias egipcias pudieron haber sido las primeras prótesis funcionales del mundo.



Figura 2: Dedo del pie de Greville Chester

En la Figura 3 se muestra una prótesis ortopédica de una momia egipcia con un tornillo de 23 cm en la rodilla, de 3.000 años de antigüedad. El doctor Richard Jackson cirujano en la universidad Brigham Young ha constatado que el tornillo estaba unido al hueso mediante una resina parecida al cemento óseo PMMA, usado actualmente, y sobre el diseño ha escrito que «el pasador está hecho con un diseño parecido a los que utilizamos hoy en día para conseguir una buena estabilización del hueso» [4,9].



Figura 3: Momia egipcia con tornillo

El hecho que marca el comienzo de la práctica médica en el antiguo Egipto es un cambio en el método. En los Papiros de Ebers y de Edwin Smith [4,5] (s. XVII a.C., Figura 4) se muestra por primera vez al médico buscar la enfermedad en los misterios del cuerpo humano y reconocer procesos y condiciones surgidos de causas físicas.



Figura 4: Papiro de Ebers

4. Irán

Los iraníes no compusieron escritos puramente médicos y todo el saber sobre la medicina se halla en sus escritos religiosos. Todos proceden del mismo Zoroastro o son recopilaciones de su doctrina, por eso, la medicina del antiguo Irán fue siempre mágico-religiosa y los sanadores oficiales eran sacerdotes, aunque existieran curanderos de diverso tipo. En la Figura 5 se muestra la prótesis más antigua que se conoce de un ojo protésico, encontrada en los yacimientos arqueológicos de Shahr-e-Sukhteh, que pertenecía a una mujer que vivió entre el 2.900 y el 2.800 a.C. Estaba hecho de un material extraordinariamente ligero, recubierto con oro, y tenía un círculo central que representaba el iris rodeado por líneas radiales que imitaban los rayos del sol, con una profunda comprensión de la estética y el simbolismo. El ojo estaba sujeto con hilos de oro, cuyos marcadores fueron encontrados en la cuenca ocular de la mujer, confirmando que la prótesis fue usada durante su vida [4].



Figura 5: Ojo protésico de Shahr-e-Sukhteh

5. China y Japón

Textos clásicos de la medicina china dan información de cómo tratar las heridas usando como terapéutica la farmacopea, la acupuntura y la maxibustión; aunque no la cirugía, opuesta a la doctrina de Confucio que impedía la investigación sobre el cadáver. En la Figura 6 se muestra la prótesis más antigua encontrada de una pierna ortopédica cuyo extremo se apoyaba en una pezuña de caballo. Esta pieza se encontró en un yacimiento arqueológico en Turpan al desenterrar una tumba de 2.000 años donde yacía un hombre con una pierna gravemente deformada ya que la rótula, el fémur y la tibia se habían fusionado en ángulo, lo que habría hecho imposible caminar. También se han encontrado en cadáveres clavijas de bambú para reemplazar los dientes perdidos [4,5].

La medicina japonesa sigue los pasos de la medicina china hasta la llegada de los portugueses y los jesuitas españoles que introdujeron la medicina europea.

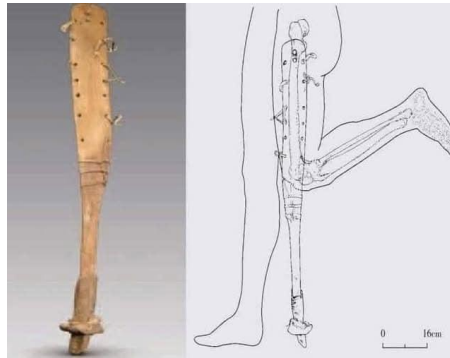


Figura 6: Pierna de Turpan (China)

6. India

En la medicina india la concepción de la enfermedad domina la idea arcaica del castigo divino incluida en los textos védicos y el tratamiento médico consistía en la ayuda de los hombres al restablecimiento del orden del cosmos, un orden religioso, moral y físico que la enfermedad había alterado. No se tiene información sobre prótesis utilizadas en la medicina india antigua, pero sí sobre cirugías plásticas y sistemas de medicina tradicionales. El conocimiento de la anatomía se vio dificultado por la prohibición de la religión hindú de tocar el cadáver antes de su cremación. La figura más sobresaliente fue Sushruta (Benarés, en torno al siglo VI a.C.), quien ideó diversos procedimientos de cirugía plástica como la reconstrucción de la nariz, cuya amputación era el castigo por delitos como el adulterio. Para este fin, utilizaba un colgajo cutáneo pediculado frontal. Fue autor del tratado “*Sushruta Samhita*”, en el que describió técnicas de cirugía en las cataratas, dentales y de reducción de luxaciones como la de la cadera [5,10].

7. Grecia y Roma

De todas las civilizaciones antiguas, la griega fue la que más profundamente influyó en el mundo occidental. Descendientes de varios pueblos – aqueos dorios, y jonios – que se establecieron en Grecia y las islas circundantes entre 2.000 y 1.200 años a.C. [1]. En la medicina griega antigua (s. IX al I a.C.), la enfermedad se veía como un castigo divino y la curación, literalmente, como un regalo de los dioses. Sin embargo, en el siglo V a.C. hubo intentos para identificar las causas materiales de las enfermedades en vez de las espirituales y esto llevó a alejarse de la superstición con respecto a la investigación científica; aunque, en realidad, las dos nunca se separarían totalmente. Los médicos griegos comenzaron entonces a interesarse más en el cuerpo en sí mismo y en explorar la relación de los síntomas con la enfermedad y el éxito o fracaso de los diferentes tratamientos. No obstante, los hilos conectores que pasaban por el pensamiento médico griego incluían la preocupación por los efectos positivos o negativos de la dieta y la creencia de que el paciente podía manejar de algún modo su dolencia, al contrario de una mentalidad más fatalista y espiritual de tiempos pasados. Pero la herencia más importante deriva de la antigua civilización minoica establecida en Creta con un sistema de medicina basado en la observación y el razonamiento filosófico, que realizaron dos de los mayores descubrimientos en la historia de la medicina: 1.- Que la enfermedad es un proceso natural, sin diferencia esencial del proceso fisiológico, y 2.- Que el cuerpo humano posee un poder innato de curación que trata de vencer las lesiones y restablecer el equilibrio perdido.

Roma recogió y recopiló toda la cultura helénica, encontrando en Hipócrates [5,7,11] (médico griego del s. V a.C.) una gran fuente de inspiración y ayuda, pues dejó por escrito una detallada descripción de todas las enfermedades conocidas que trató. Su influencia fue tal que los romanos llegaron a adoptar a las deidades griegas relacionadas con el mundo de la sanación. Ante la expansión territorial, la salud de los soldados tenía gran importancia, prueba de ello es que, pese al gran número de expediciones militares, las enfermedades infecciosas que asolaban en aquella época no diezmaron sus ejércitos. Por eso, desde los inicios de la república empezaron a establecerse escuelas de medicina ante la necesidad de cirujanos militares, donde los futuros médicos tenían que aprender todo tipo de habilidades. Los médicos romanos apostaron por la creación de hospitales militares en los que tratar mejor a los heridos, además de un auténtico sistema de evacuación de heridos en angarillas. Edificaron “*Valetudinaria*” (construcciones que son antecedente directo de los hospitales actuales) en los que enfermos y heridos se distribuían en alas y habitaciones independientes. Los romanos no sólo crearon edificios para la curación de enfermos, sino que establecieron una organización sanitaria compleja, dirigida por el “*Ordinarius*”. Éste se encargaba de dirigir y coordinar todo lo relacionado con la salud de las legiones [12].

Las prótesis en la antigüedad grecolatina buscaban paliar las carencias en lo estético y en lo funcional, por ello se recurría a distintos tipos de prótesis para reemplazar las partes del cuerpo que les faltaban o que tenían una funcionalidad limitada. En la literatura médica griega, “*prótesis*” designaba la aplicación sobre el cuerpo de remedios como emplastos, supositorios o instrumental médico [11]. Sin embargo, sí existía la práctica protésica

como lo demuestran las citas en documentos escritos y los restos arqueológicos de dientes postizos, manos, dedos, hombros, pies, piernas, caderas, ojos y peluquines encontrados. En su fabricación se utilizaban cuero, marfil, hueso, pelo humano, madera, metales como el hierro y el bronce, y metales nobles como oro, diamante y malaquita. Se han encontrado dentaduras postizas fabricadas con dientes humanos o de animales y pelucas de pelo humano

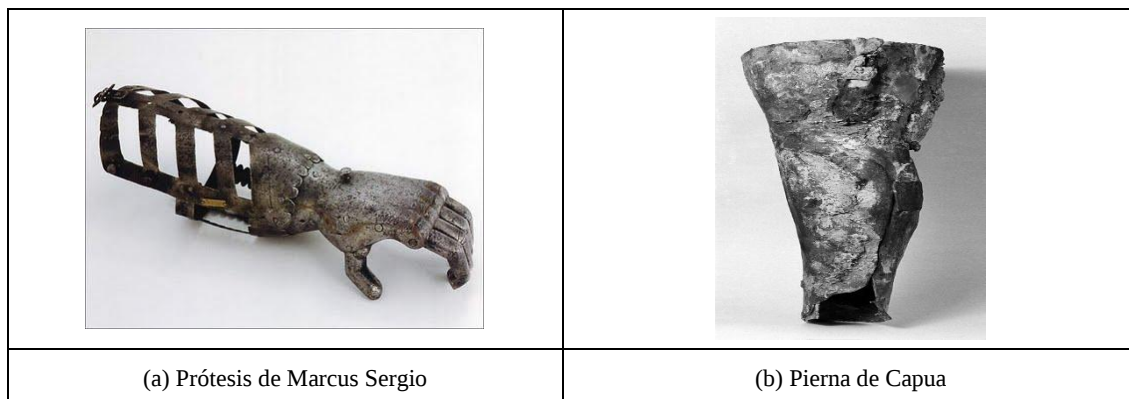


Figura 7: Prótesis en el imperio greco-latino

Hipócrates de Cos (460 a.C.), en el Corpus Hipocraticum, escribió dos tratados sobre fracturas (“*Peri agmon*”) y de articulaciones (“*Peri arthron*”), que son básicamente fisioterapia. En cuanto a deformidades, definió y trató la escoliosis con mecanoterapia en un aparato de tracción llamado el banco de Hipócrates, definiéndola como una luxación de las vértebras, y el pie zambo, con manipulaciones y vendajes. Herodoto (480-430 a.C.) escribió sobre un vidente persa condenado a muerte que escapó después de amputarse su propio pie y reemplazarlo con una plantilla protésica de madera para caminar 30 millas (48,15 km) hasta el próximo pueblo. El erudito romano Plinio el Viejo (23-79 d. C.) en su obra “*La Naturalis Historia*” escribió sobre el general romano Marcus Sergius que luchó en la Segunda Guerra Púnica (218-210 a.C.) contra Aníbal perdiendo la mano derecha en la batalla. Se le colocó una mano de hierro (Figura 7a) para que sostuviera el escudo y pudo volver al campo de batalla [5,7,12].

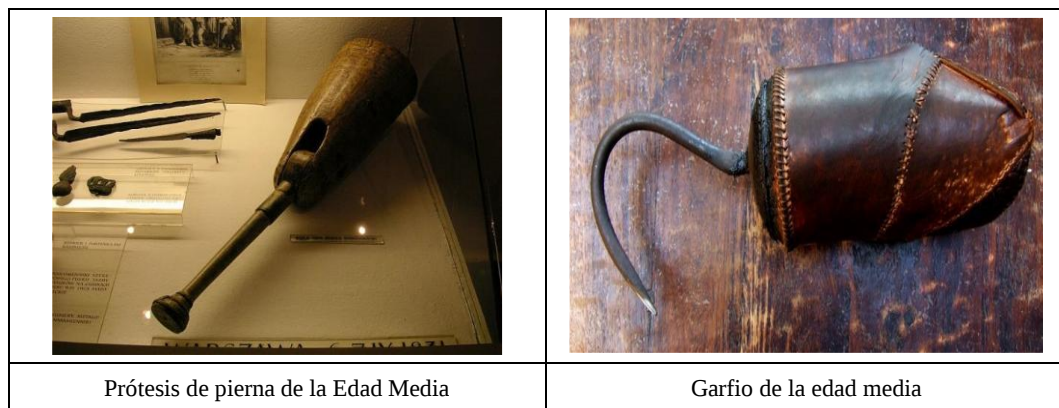
En la Figura 7b se muestra la prótesis de pierna más antigua que se conoce. Se descubrió en Capua (Italia) en el año 300 a.C. La “pierna de Capua” era de bronce y madera hueca y se sujetaba con correas de cuero. Tenía unas varillas delgadas que ayudaban a fijar la extremidad en su lugar y una sección hueca en el tobillo, probablemente diseñada para un pie separado. La lámina de bronce se asemejaba a la espinillera de los soldados, lo que posiblemente sugiere que fueron armeros los que la construyeron [2,5,7].

8. Edad Media

En la Edad Media, después de la caída del Imperio romano, se produjo claramente el divorcio entre medicina y cirugía, separación que ya se había insinuado en la medicina alejandrina [13]. La medicina en Occidente entró en un importante retroceso al basarse en ideas religiosas y supersticiones y no en una tradición de medicina científica. Además, el hecho de la prohibición de los estudios anatómicos en cadáveres determinó que desapareciera poco a poco la formación de médicos y que los conocimientos de Galeno se perdieran, considerando la práctica quirúrgica un arte menor y quedando en manos de los barberos. Sin embargo, en el imperio romano de Oriente (326 d.C.) – posterior imperio de Bizancio – apareció la medicina eclesiástica y la enseñanza de la medicina se impartió en las escuelas catedráticas a cargo del clero secular, hasta el Concilio de Clermont en 1170, en que definitivamente se les prohibió a los monjes. Para cubrir la necesidad de asistencia médica a partir del siglo VI los emperadores de Bizancio facilitaron la creación de hospitales para recibir a los enfermos y la enseñanza de la medicina siguió la doctrina hipocrática con elementos religiosos y especulaciones en torno a la orina y al pulso del enfermo. Surgió también la medicina árabe medieval, que siguió las enseñanzas de los clásicos greco-latinos (Hipócrates y Galeno) y la medicina oriental, poco agresiva y que apostaba más en la prevención que en la intervención con un marcado carácter especulativo, prohibiendo los estudios anatómicos en cadáveres. Entre el siglo XI y XII y bajo influencia árabe floreció la escuela de Salerno; una escuela médica laica centrada en el empirismo y la observación y no en el aspecto teórico y especulativo. Más tarde, en el siglo XIII y al amparo de la escuelas monásticas y catedráticas resurgieron en Europa las primeras universidades, centros de aprendizaje que cambiarían para siempre el panorama intelectual y social del continente.

En la Figura 8 se observa que en la prótesis no hubo gran avance: se siguió usando la pata de palo y los ganchos de mano ya que la funcionalidad en movilidad, apariencia o estética no era la prioridad [2,14]. A los caballeros se les colocaban prótesis de madera como protección o sujeción de la espada o el escudo para protegerse en las guerras. Una de las más utilizadas era un brazo de hierro con el que se podía sujetar un escudo y con la otra mano sujetar la espada y así poder entrar en batalla. Las prótesis eran construidas por los propios fabricantes de armaduras y por los relojeros que aportaban conocimientos de engranajes. Otras de las primeras prótesis conocidas incluyen pies artificiales hechos en Suiza y Alemania entre los siglos V y VIII [2]. Eran de madera, hierro o bronce

y es posible que se sujetaran con correas a la extremidad amputada restante. En el siglo XIV se construyó la mano Alt-Ruppin utilizando hierro. Esta mano contaba con un dedo pulgar rígido que se oponía a los demás dedos, los cuales eran flexibles, y se activaban pasivamente de manera que se podían fijar en una posición determinada mediante un mecanismo de trinquete y muñeca móvil [15].



Prótesis de pierna de la Edad Media

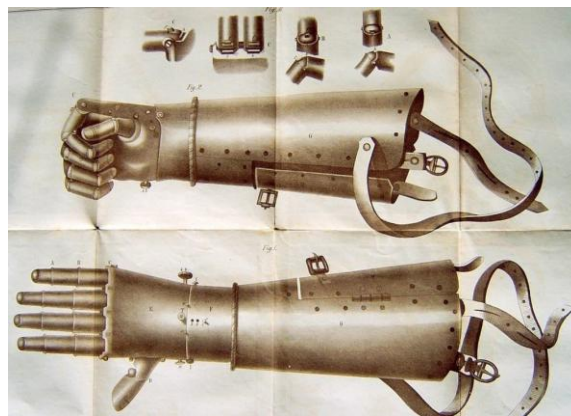
Garfio de la edad media

Figura 8: Prótesis de la Edad media

9. Renacimiento

Durante el Renacimiento, con el resurgir de la filosofía humanista sustentada en el antropocentrismo y el racionalismo, los estudios científicos progresaron notablemente. El saber médico avanzó a partir de mediados del siglo XIV, retomando el conocimiento del cuerpo humano como contexto básico de la medicina. La anatomía fue la disciplina que más avanza porque retoma el camino de la medicina clásica y corrige los errores de interpretación de la difusión por los árabes, volviendo a técnica de disección y a la práctica de autopsias corrigiendo los errores de Galeno [16,17]. La protésica también tuvo un gran avance al retomar los descubrimientos médicos descritos en la protésica griega y romana. Los materiales utilizados en esta época fueron el hierro, cobre y madera, como en las épocas precedentes, hasta que en 1564 el médico francés Ambroise Paré, junto con el cerrajero francés Lorrain, utilizara cuero, papel y pegamento en lugar de hierro pesado para elaborar una prótesis [18].

En cuanto a prótesis cabe destacar a Gottfried “Götz” von Berlichingen, apodado “mano de hierro”, quien perdió una mano en la guerra de sucesión entre Renania y Baviera (1504) a causa de un cañonazo de su propio bando. Tras ser hospitalizado, un año más tarde su mano fue reemplazada por un guante de hierro (Figura 9). Constaba de 10 ruedas mecánicas con las cuales poder mover los dedos. Esta prótesis le permitía movimientos de pronación y supinación para las tareas diarias. En este tipo de prótesis empieza a tomar importancia la funcionalidad y, aunque fue un gran avance, la prótesis no estaba diseñada para poder coger objetos pesados [3,5,7,9,15].

**Figura 9:** Mano de hierro Gottz

En 1564 el médico militar Ambroise Paré fabricó la primera mano cosmética en cuero denominada “Petit Lorrain” (Figura 10), considerada como el primer brazo artificial móvil. La mano de hierro era articulada y los dedos podían abrirse y cerrarse mediante múltiples cuerdas y pestillos, presionando o traccionando [2,4,7,9,15–17]. Esto permitía reproducir los movimientos naturales de una mano. Tenía también un mecanismo de palanca en la muñeca que permitía la flexión o extensión de los dedos a través del codo. Además, inventó un dispositivo por encima de la rodilla, que consistía en una pata de palo que podía flexionarse en la rodilla y una prótesis de pie con una posición fija, un arnés ajustable, control de bloqueo de rodilla y otras características de ingeniería que se utilizan en los dispositivos actuales.



Figura 10: Mano Petit Lorrain

10. Siglos XVII al XX

A partir del siglo XVII, las prótesis se volvieron más funcionales gracias a avances de la técnica y al uso de materiales como el cuero. Sin embargo, estos dispositivos necesitaban ajustes manuales. Por ejemplo, una mano artificial podía cerrarse usando un tenedor como palanca, pero la persona necesitaba la otra mano para operar la palanca. Con el tiempo y los avances en los conocimientos de anatomía se mejoró la integración de las prótesis, utilizándose resortes y sistemas mecánicos para mejorar la movilidad [2]. En la Figura 11 se muestra la prótesis que desarrolló Pieter Verduyn en 1696: la primera prótesis por debajo de la rodilla sin mecanismo de bloqueo, eliminando la necesidad de amputar por encima de la misma. Esta prótesis tenía bisagras externas y un encaje de cuero en el muslo, permitiendo el movimiento de la rodilla tanto para la suspensión como para el soporte del peso. El invento de Verduyn sentaría las bases de los actuales dispositivos de articulación y corsé desarrollados con posterioridad, manteniendo su influencia en el campo de la ortopedia hasta finales del siglo XVIII [4,7].

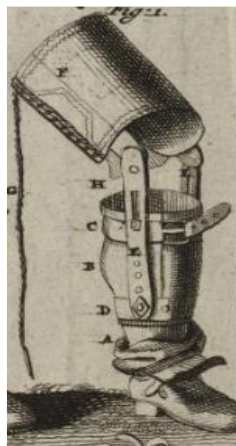


Figura 11: Prótesis de Verduyn.

El siglo XIX marcó un gran salto en la evolución de las prótesis. Un ejemplo destacado es la “Pierna de Anglesey”, fabricada por James Pott en 1800 [4,6,7,9]. Era una prótesis transfemoral que constaba de un tobillo y rodilla articulada en la que la flexión de la rodilla se combina con la dorsiflexión del pie. La articulación de la rodilla era de acero y el pie articulado estaba controlado por tendones hechos de tripa de gato. Este diseño permitió una movilidad más natural, mostrando cómo la tecnología más avanzada comenzaba a integrarse en el desarrollo de prótesis. Más tarde, en 1839, William Selpho llevó la pierna a los EE. UU., donde se la conoció como la “Pierna Selpho” [2,7,9].

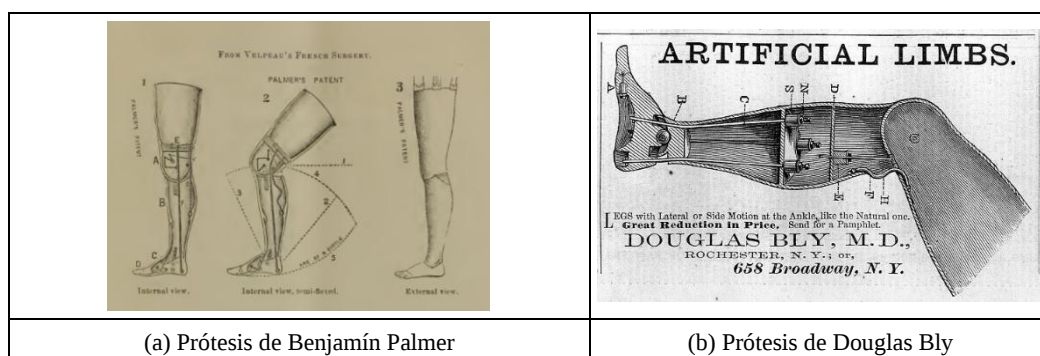


Figura 12: Prótesis de pierna

En 1.846, Benjamin Palmer perfeccionó la pierna Selpho que se muestra en la Figura 12a al agregarle un resorte en la parte anterior de la pierna y tendones escondidos para simular un movimiento natural con la dorsiflexión del pie. En 1.858, el Dr. Douglas Bly inventa y patenta en EE. UU. una prótesis endo-esquelética, que se muestra en la Figura 12b, de extremidad inferior que tenía articulaciones de rodilla y tobillo, lo que permitía extender y flexionar la pierna, además de la aversión e inversión del pie [3,5,7]. Después de la guerra civil norteamericana el número de amputados por causa de la guerra llevó casi a cuadruplicar el número de patentes de prótesis. Una de ellas era una pierna de madera llamada la “extremidad de Hanger”, Figura 13, en la cual el tobillo era de caucho y el talón era acolchado y por tanto más ergonómicas que las anteriores [2,7,9].

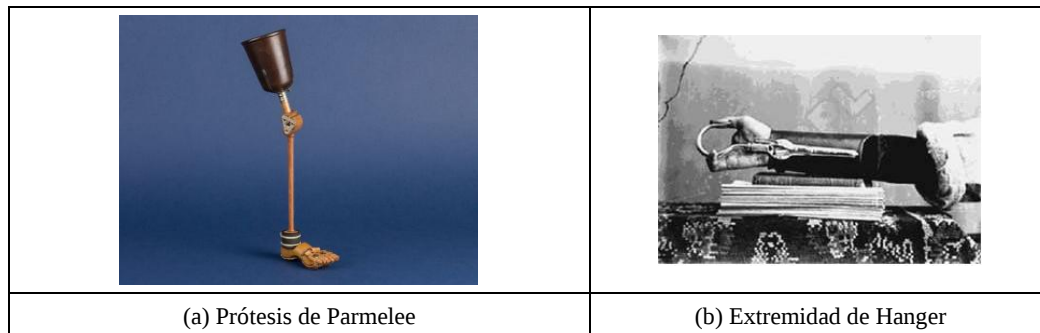


Figura 13: Prótesis siglo XIX

En 1.863, Dubois Parmelee inventó y patentó una prótesis avanzada de acero con un encaje de succión de caucho, una rodilla policéntrica y un pie multiarticulado. La "Pierna artificial" de Parmelee, Figura 13a, encajaba el cubo de caucho adaptable a la presión atmosférica, moldeado a partir de la extremidad restante del paciente. Parmelee poseía varias patentes de caucho de la India, pero su invención más importante fue el encaje de succión para las prótesis de la pierna. Más tarde, en 1.868, Gustav Hermann sugirió el uso de aluminio en lugar de acero para que las extremidades artificiales fueran más livianas y funcionales. Ya a finales de siglo, los fabricantes empezaron a construir más prótesis funcionales al cambiar la madera y el cuero por plásticos y otros materiales artificiales [6,7].

11. Siglo XX

Con la llegada del nuevo siglo, los médicos europeos buscaban prótesis más funcionales y refinadas que pudieran manejarse para facilitar la vida cotidiana y el trabajo manual, en lugar de los diseños históricos de objetivo específico. Sin embargo, las prótesis desarrolladas hasta el momento tenían la desventaja de ser demasiado pesadas e incómodas de utilizar. De acuerdo con Don Ellsworth en su publicación Desoutter's Lesson [4,9], la primera prótesis realizada de aluminio tendría que esperar hasta 1.912, cuando Marcel Desoutter, un famoso aviador inglés, perdió su pierna en un accidente de avión y con la ayuda de su hermano Charles la construyeron, (Figura 14^a). Casi en el mismo tiempo, Dorrance en Estados Unidos desarrolló el famoso “Hook” en 1.912, dispositivo capaz de abrirse activamente por medio de movimientos de la cintura escapular y cerrarse pasivamente por la acción de un tirante de goma [9]. Fischer en Alemania construye el gancho de Fischer, que ofrecía como ventaja principal el poseer una mayor potencia en la presión y sujeción de los objetos y en la diversidad los mismos. En 1915 en Alemania, Ernest Ferdinand Sauerbruch, (Figura 14b), logra conectar la musculatura flexora del antebrazo con el mecanismo de la mano artificial mediante varillas de marfil intercúteas, que pasaban a través de músculos cutáneos, haciendo posible que la prótesis se moviera de forma activa debido a la contracción muscular [6,15].

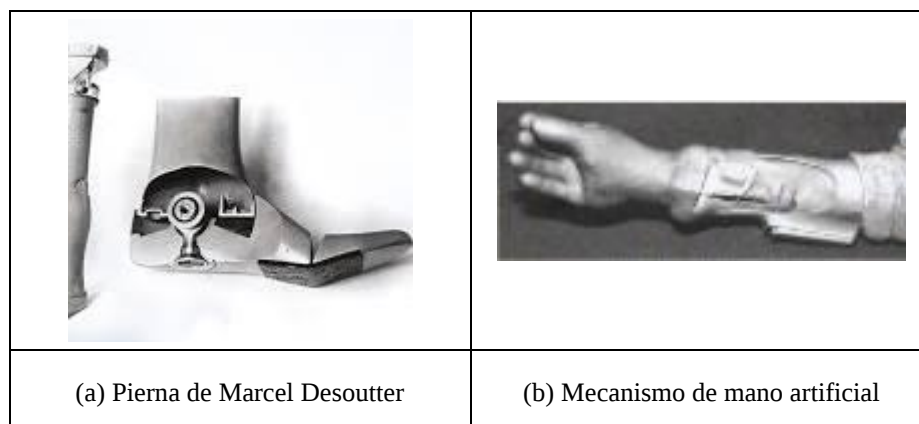


Figura 14: Prótesis activadas por la contracción de los músculos

En 1.917, durante la primera guerra mundial, F. F. Simpson fundó la “American Limb Makers Association”, en la que se unieron todos los fabricantes de prótesis y ortesis existentes por aquel entonces en los Estados Unidos,

urdiendo la mayor contribución a la historia en el desarrollo de las prótesis [2]. Los materiales utilizados en la construcción de las prótesis comenzaron a partir de entonces a ser más ligeros y dúctiles, apareciendo entre otras las aleaciones de aluminio, las fibras sintéticas y los polímeros. Tras la primera guerra mundial, todos los países se unieron en un esfuerzo común dirigido a la mejor rehabilitación del inválido.

Después de la segunda guerra mundial los amputados aumentaron a nivel mundial. Mas de 100.000 soldados y pilotos sufrieron la pérdida de alguna extremidad durante la guerra y más de 15.000 norteamericanos recibieron tratamientos y prótesis. Por tanto, en Europa se impulsó la investigación y el desarrollo de prótesis más ligeras y funcionales, tomando las tecnologías europeas la iniciativa frente a la tecnología americana. Se empezaron a utilizar materiales livianos, duraderos y flexibles como los plásticos, silicona, titanio, aluminio, baquelita, fibra de carbono y polímeros avanzados y diseños más funcionales y cómodos a la medida del paciente, para mejorar la movilidad. En la actualidad se disponen de prótesis sofisticadas y funcionalmente adaptadas al amputado.

En 1946, en Europa se crean las prótesis neumáticas y eléctricas, figura 15, con un sistema de propulsión asistida en que el movimiento es activado por algún agente externo, y en Estados Unidos se dieron dos avances principales: el encaje de succión tras la pérdida transfemoral de extremidades y la cineplastia, operación quirúrgica practicada en los amputados para permitirles mover su aparato de prótesis por medio de los músculos y tendones que se insertan sobre la parte amputada.

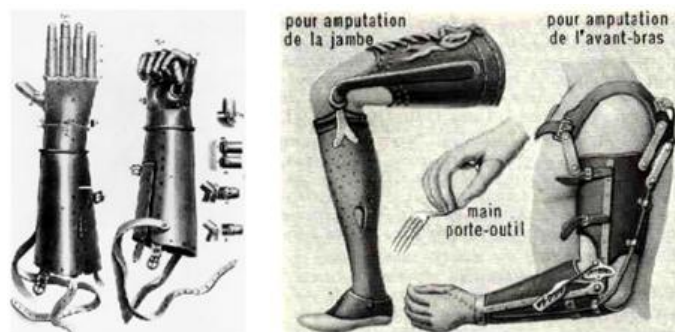


Figura 15: Prótesis neumáticas y eléctricas

Al final de la Segunda Guerra Mundial, el Ejército de los EE. UU. estableció el Laboratorio de Investigación de Prótesis del Ejército para investigar y desarrollar manos artificiales. Se crean las prótesis con mando bioeléctrico, (figura 16a) que funciona con pequeños potenciales extraídos durante la contracción de las masas musculares del muñón, siendo éstos conducidos y amplificados para obtener el movimiento de la prótesis. En 1.970 se introducen las prótesis controladas por microprocesadores permitiendo mayor grado de libertad y mejor funcionalidad [7,9,15]. En 1980 se diseña el pie SAFE y el pie SACH, (figura 16b), fabricados con espuma de uretano o neopreno crepé moldeados sobre un núcleo de madera y conformado para que se asemejen a un pie humano. Producen amortiguación y absorción de energía, pero no la almacenan y absorben, por lo que no se consideran pies dinámicos. En 1.990 nació la tecnología FlexFoot (Figura 16c) para las prótesis, que permite a los usuarios saltar, caminar y correr, adaptándose a los corredores paralímpicos. Como material se utilizó el grafito, aunque en la actualidad se usa fibra de carbono [15].

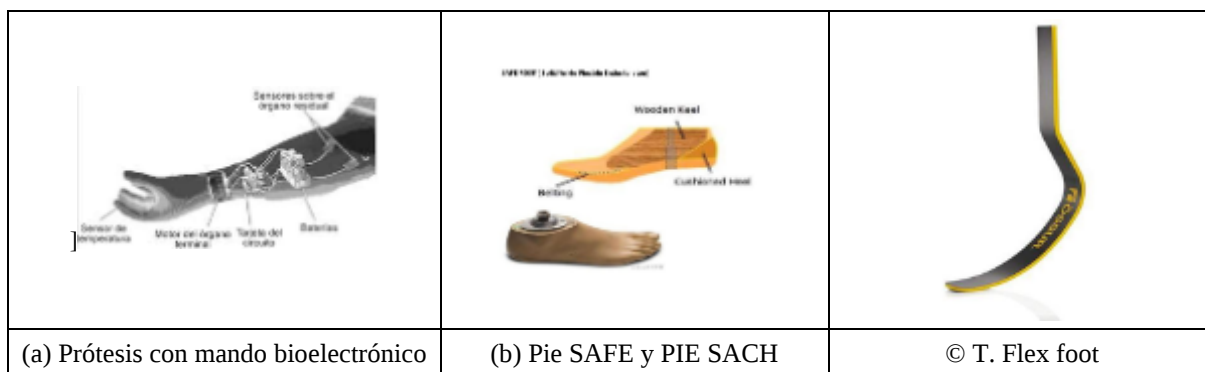


Figura 16: Prótesis desarrolladas durante el siglo XX.

12. Siglo XXI

En 2.006, el ingeniero americano Hugh Herr, investigador y doble amputado, desarrolló “la pierna biónica” con sensores y tecnología avanzada para replicar una pierna humana. Para su construcción ha empleado modelos de puente cruzado del músculo esquelético como mecanismo de propulsión humana. La clave de las prótesis inteligentes desarrolladas por Herr es la función que realizan. Ha construido la próxima generación de

extremidades biónicas, prótesis robóticas inspiradas en la naturaleza que realizan ajustes constantes según las superficies que pisan, con mecanismos que simulan la propulsión natural del andar humano y zapatos elásticos que aumentan la resistencia aeróbica al caminar y correr (ver Figura 17).



Figura 17: Pierna bionica

En el año 2012 se empezaron a fabricar prótesis modulares impresas en 3D (Figura 18) para personas incapacitadas, permitiendo una personalización rápida y eficiente para los usuarios. No sería hasta 2020 cuando se realizaron avances significativos en la conexión mente-máquina, permitiendo a los usuarios controlar las prótesis con señales cerebrales y realizar con precisión todos los movimientos del segmento mutilado con factor de forma y apariencia antropomórfica. En la actualidad pueden usar para cualquier parte del cuerpo, siendo más económicas que las prótesis convencionales. Mecánicamente son más ligeras y manejables, más flexibles y cómodas y más resistentes. Además, permiten diseños con características que solo son factibles con la fabricación aditiva. La compañía Not Impossible Labs ha fabricado prótesis de manos y brazos para amputados en el sur de Sudán y en las montañas de Nuba.



Figura 18: Prótesis modular

13. Conclusiones

El avance en el diseño las de prótesis ha estado ligado directamente con el avance en el manejo de los materiales empleados por el hombre, así como el desarrollo tecnológico y el entendimiento de la biomecánica del cuerpo humano. Las primeras prótesis encontradas en momias egipcias, datadas en el 3000 a.C., estaban construidas con madera, cuero y resinas y con el manejo del hierro ya en la segunda guerra púnica (218-202 a. C.) se sabe que se construyó una mano de hierro al general romano Marcus Sergius. Con el paso del tiempo y en la búsqueda de mejoras en el año de 1400 se fabricó la mano de hierro de Alt-Ruppin, con dedos flexibles y con el pulgar rígido en oposición, los cuales eran flexionados pasivamente, mediante un mecanismo de trinquete y muñeca movable. Ya el siglo XVI, el médico militar francés Ambroise Paré diseño la primera mano de hierro artificial móvil al nivel de codo recubierta de cuero, llamado, Le Petit Loraine, donde los dedos podían abrirse o cerrarse. El empleo del hierro para la fabricación de manos era tan recurrente, que Goethe escribió la obra Götz von Berlichingen sobre la vida de un caballero medieval alemán conocido por su dureza y su "mano de hierro".

En el siglo XIX ya se emplean el cuero, los polímeros naturales y la madera y nuevos mecanismos de transmisión de esfuerzo, para la sujeción. Un ejemplo destacado es la "Pierna de Anglesey", prótesis transfemoral de acero con rodilla articulada en la que la flexión de la rodilla se combina con la dorsiflexión del pie controlado por tendones hechos de tripa de gato; la prótesis endo-esquelética de extremidad inferior del Dr. Douglas Bly que tenía articulaciones de rodilla y tobillo; o la pierna de madera "extremidad de Hanger más ergonómicas que las anteriores.

En el siglo XX, Dorrance desarrolló el gancho Hook, que es una unidad terminal que permite abrirse activamente o el gancho Fischer que poseía distintos tipos de prensión y sujeción de los objetos. Un paso importante lo dio Ernest Ferdinand Sauerbruch, al conectar la musculatura flexora del antebrazo con el mecanismo de la mano artificial y en 1946 cuando se crean sistemas de propulsión asistida, dando origen a las prótesis neumáticas y eléctricas. Al final de la Segunda Guerra Mundial se crean prótesis con mando bioeléctrico que funcionan con pequeños potenciales extraídos durante la contracción de las masas musculares del muñón; en 1.970 se introducen las prótesis controladas por microprocesadores; en 1980 se diseña el pie SAFE y el pie SACH, fabricados con espuma de uretano o neopreno y conformado para que se asemejen a un pie humano y en 1.990 nació la tecnología FlexFoot para las prótesis de grafito, aunque en la actualidad se usa fibra de carbono, que permite a los usuarios saltar, caminar y correr, adaptándose a los corredores paralímpicos. En 2.006, el ingeniero americano Hugh Herr, investigador y doble amputado, desarrolló “la pierna biónica” con sensores y tecnología avanzada para replicar una pierna humana, construyendo la próxima generación de extremidades biónicas, prótesis robóticas que simulan la propulsión natural del andar humano. En el año 2.012 se empezaron a fabricar prótesis modulares impresas en 3D para personas incapacitadas, y es en 2.020 cuando se producen avances significativos en la conexión mente-máquina, para controlar las prótesis con señales cerebrales y realizar con precisión todos los movimientos del segmento mutilado con factor de forma y apariencia antropomórfica.

En la actualidad, el potencial de las prótesis reside en el ámbito de los dispositivos de control neuronal o interfaces cerebro-computadora (ICC). Las ICC permiten la comunicación directa entre el cerebro humano y dispositivos externos, allanando el camino para un control intuitivo y fluido de las prótesis. Con prótesis controladas neuronalmente, los usuarios pueden recuperar movimientos casi naturales de las extremidades mediante el poder del pensamiento. Los investigadores están logrando avances significativos en la decodificación de señales neuronales y su traducción a acciones protésicas precisas. Esta tecnología mejora drásticamente la calidad de vida de las personas amputadas, proporcionándoles un nivel de destreza y control inimaginable. Por último, la Inteligencia Artificial y el aprendizaje automático desempeñarán un papel transformador en el desarrollo y la optimización de dispositivos protésicos. Estas tecnologías pueden analizar grandes cantidades de datos, lo que permite ajustar los procesos cerebrales con más precisión y personalidad. Por tanto, pueden adaptarse y aprender de los patrones de movimiento del usuario, ajustando en tiempo real la integración perfecta entre el usuario y la prótesis. De este modo, se optimizan el rendimiento y la necesidad de ajustes manuales. Este modelado predictivo puede anticipar las acciones del usuario, mejorando la seguridad y la capacidad de respuesta en función de la condición física del usuario. Es probable que las prótesis futuras incorporen sistemas mejorados de retroalimentación sensorial, difuminando aún más la línea entre las extremidades artificiales y las naturales. Los sensores táctiles, por ejemplo, pueden proporcionar a las personas amputadas el sentido del tacto, permitiéndoles percibir la presión y la textura, mejorando así la interacción del usuario con el entorno. También las tecnologías de realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV) podrían mejorar la propiocepción, la percepción espacial y la experiencia general del usuario con la prótesis.

El impacto de estos avances va más allá de la funcionalidad y la estética; toca la esencia misma de la experiencia humana, ofreciendo a las personas amputadas una sensación de empoderamiento, independencia y esperanza en un futuro donde la discapacidad se redefina y sea sinónimo de verdadera liberación e inclusión.

14. Referencias

- [1] Laín Entralgo P., *Historia de la medicina*, Salvat, Barcelona, (1978). Accedido: 25 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cervantesvirtual.com/obra/historia-de-la-medicina/>
- [2] "Las prótesis a través del tiempo", *NIH Medicine Plus*, (2023). Accedido: 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://magazine.medlineplus.gov/es/art%C3%ADculo/las-protesis-a-traves-del-tiempo>
- [3] Norton K. M., "A Brief History of Prosthetics", *inMotion*, **17**, 7, 11-13 (2007).
- [4] Pardo Jiménez M. Á., "Diseño de una prótesis canina para extremidades delanteras", Trabajo Fin de Grado, Universidad Pública de Navarra, Tudela, (2017). Accedido: 25 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/24608>
- [5] Nieto Sánchez M. E., *Evolución histórica del tratamiento de las escoliosis por métodos no cruentos: los medios ortopédicos mecánicos empleados desde los orígenes hasta 1914*, Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones, (2004). Accedido: 25 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/55038>
- [6] Kulkarni P. G. *et al.*, "Overcoming Challenges and Innovations in Orthopedic Prosthesis Design: An Interdisciplinary Perspective", *Biomedical Materials & Devices (New York, N.Y.)*, 1-12 (2023), doi: 10.1007/s44174-023-00087-8.

- [7] Martínez Jiménez M. P., "Diseño, desarrollo y validación FEM de una prótesis de miembro inferior amputado Mpara la práctica de powerlifting", Trabajo Fin de Grado, Universidad Politécnica de Valencia, Alcoy, (2022). Accedido: 25 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/188323>
- [8] Forssmann A., "Sofisticación en el Antiguo Egipto: una prótesis de hace 3.000 años", *Historia National Geographic*, (2017). Accedido: 25 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/sofisticacion-antiguo-egipto-protesis-hace-3000-anos_11639
- [9] Valencia Domínguez A., "Diseño y fabricación de paleta de natación para amputado transhumeral", Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Nezahualcóyotl, (2014).
- [10] Muñoz Muñoz J. M., "La cirugía en la medicina de Ayurveda. El Sushruta Samhita", (2020). <https://esayurveda.com/la-cirugia-en-la-medicina-ayurveda-el-sushruta-samhita/> (accedido 25 de abril de 2025).
- [11] Kleisariis C. F. *et al.*, "Health care practices in ancient Greece: The Hippocratic ideal", *Journal of Medical Ethics and History of Medicine*, 7, 6 (2014).
- [12] Schiavone M. Á., "La medicina en Grecia y Roma", Lizarraga, A. A., Lemus, J. D. (eds.). *Introducción a la salud pública 2. Buenos Aires: Universidad del Salvador. Facultad de Medicina. Escuela de Salud Pública, 1995*, Universidad del Salvador. Facultad de Medicina. Escuela de Salud Pública, Buenos Aires, Argentina, 25-35 (1995) Accedido: 25 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/7707>
- [13] Barros Guimeráns C., "La humanización de la naturaleza en la Edad Media", *Edad Media: revista de historia*, 2, 169-194 (1999).
- [14] García-Ballester L. *et al.*, "El médico en la Edad Media", (1999), Accedido: 25 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/36170>
- [15] Páez Chingal I. G. *et al.*, "Prótesis subactuadas de manos humanas: una revisión", *Ingenium*, 18, 35, 20-34 (2017).
- [16] García Guerrero M., "Medicina y arte. La revolución de la anatomía en el Renacimiento", *Revista Científica de la Sociedad Española de Enfermería Neurológica*, 35, 1, 25-27 (2012), doi: 10.1016/S2013-5246(12)70015-6.
- [17] Vaquero Puerta C. *et al.*, "La cirugía del Renacimiento: el tratamiento de las heridas de guerra", *Anales de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 55, 137-148 (2018).
- [18] Buzzi A. E. *et al.*, "Ambroise Paré (1510 - 1590): de barbero a cirujano del rey", *ALMA Cultura y Medicina*, 2, 3, 20-40, (2016).