

Recepción: 20.03.2026

Revisión: 25.03.2026

Publicación: 08.05.2026

<https://orcid.org/0009-0001-6251-6550>

<https://orcid.org/0000-0003-4152-0953>

<https://orcid.org/0000-0002-4745-5868>

<https://orcid.org/0000-0003-1682-4509>

<https://orcid.org/0000-0002-0752-6713>

<https://orcid.org/0000-0003-0525-6155>

DE MINERALES A INSTRUMENTOS QUIRÚRGICOS QUE SALVAN VIDAS

FROM MINERALS TO SURGICAL INSTRUMENTS THAT SAVE LIVES

Nicole Olivares-Likhanova¹

Natalya V. Likhanova²

Janette Arriola-Morales³

Irina Lijanova⁴

Maribel Castillo-Morales³

Octavio Olivares-Xometl^{3*}

(1) Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Medicina,
C. 13 Sur 2702, Col. Los Volcanes, Puebla 72420, México.

(2) Instituto Mexicano del Petróleo, Eje Central Norte Lázaro Cárdenas
No. 152, Col. San Bartolo Atepehuacan, G. A. Madero, CDMX 07730,
México.

(3) Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería
Química, Av. San Claudio y 18 Sur, Ciudad Universitaria, Col. San Manuel,
Puebla 72570, México.

(4) Instituto Politécnico Nacional, Centro de Innovación e Investigación
Tecnológica, Cerrada Cecati S/N, Colonia Santa Catarina de
Azcapotzalco, CDMX 02250, México.

Correos:

nnicolelikhanova@gmail.com nvictoro@imp.mx

janette.arriola@correo.buap.mx irinalijanova@yahoo.com.mx maribel.castillo@correo.buap.mx

octavio.olivaresx@correo.buap.mx

octavio.olivares@viep.com.mx

Resumen

Desde los inicios de la historia, el hombre comprendió la relevancia del uso de herramientas que pudieran asegurar su supervivencia ante entornos hostiles y como medio de curación. La historia es clara, tuvieron que desarrollar conocimientos acerca de los materiales que poseían en su entorno, seguidos de su transformación en una herramienta útil. Este logro como civilización fue clave con las bases más antiguas de la metalurgia (eras del Bronce y del Hierro), donde los minerales tuvieron un papel importante para la obtención de herramientas con mejores propiedades que las hechas a partir de piedra. Hoy día el avance tecnológico en el procesamiento de minerales de hierro, ha permitido el desarrollo de aleaciones de acero con mejores propiedades físicas y químicas. Las aleaciones de acero inoxidable tienen una amplia gama de aplicaciones porque son resistentes a entornos acuosos más agresivos y a esfuerzos mecánicos. A medida que la ciencia comprendió las propiedades de las aleaciones de acero inoxidable, estos materiales fueron ganando terreno en diferentes áreas, como la médica. Donde el uso de instrumental quirúrgico y piezas especiales exige los máximos estándares de calidad en durabilidad, higiene y seguridad al no interactuar con fluidos corporales y liberar sustancias tóxicas. Todos estos logros son posibles a partir del uso de un simple mineral que hoy en día nos hace la vida más fácil.

Palabras clave: *Mineral; Hierro, Acero inoxidable; Instrumental quirúrgico*

Abstract

From the beginning of history on this planet, humans understood the importance of using tools that could guarantee their survival in hostile environments and as a means of healing. In this context, history is clear: humans had to acquire knowledge about the materials they had at hand, followed by their transformation into useful tools. This civilization achievement was key to setting the most ancient basis of metallurgy (Bronze and Iron Ages), where minerals played a key role in the production of tools with better properties than those displayed by those made of stone. Nowadays, the technological advancement in the processing of iron minerals has enabled the development of steel alloys with improved physical and chemical properties. In the case of stainless-steel alloys, they have been the subject of numerous applications because of their capacity to withstand aggressive media and mechanical stress. As science understood the properties of stainless-steel alloys, these materials gained terrain in different areas, such as the medical field, where surgical instruments and special pieces must comply with the highest quality standards in terms of durability, hygiene, and safety that prevent them from interacting with body fluids and releasing toxic substances. All these achievements have been possible from the discovery, study, and use of a simple mineral that currently makes human life easier

Keywords: *Mineral; Iron; Stainless steel; Surgical instrument*

Introducción

Generalidades de la importancia del hierro

La comodidad actual del ser humano estuvo marcada por eventos importantes en la historia de nuestra civilización, pasando por diferentes periodos. Uno de ellos fue la Edad de Piedra, que duró aproximadamente 2,5 millones de años, caracterizada por la habilidad de desarrollar las primeras herramientas y armas a partir de la correcta identificación de las propiedades de las piedras disponibles (Figura 1) (Hervé et al., 2025; Kiss, 2016; Schmid et al., 2026)



Figura 1. Herramienta de corte empleada en la Edad de Piedra (<https://es.wikipedia.org/wiki/Raspador>)

Se estima que este periodo duró aproximadamente 2,5 millones de años y concluyó entre 4500 a.C. y 2000 a.C., hasta la etapa crucial como civilización, con la aparición de la Edad de hierro (metalurgia) (Cuesta-Aguirre et al., 2025).

Es importante resaltar que antes de la Edad del Hierro, se tuvo la Edad del Bronce entre 3300 a.C. y 1200 a.C., periodo que sentó el inicio de la metalurgia (Sabatini et al., 2025). La etapa de hierro estuvo caracterizada por un cúmulo de conocimientos adquiridos en las eras previas.

El ser humano comprendió que la correcta identificación de los minerales metálicos (óxidos metálicos) era la base para la obtención de herramientas de hierro con mejores propiedades, como se observa en la Figura 2 (Erb-Satullo, Gilmour, & Khakhutaishvili, 2014; Erb-Satullo & Klymchuk, 2025)

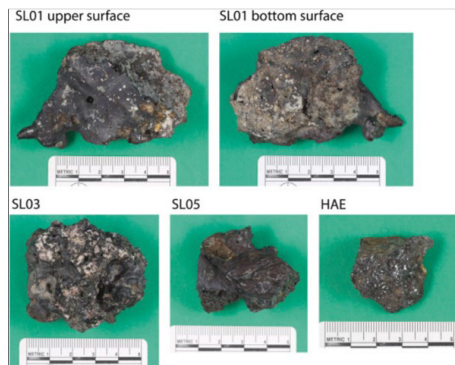


Figura 2. Muestras seleccionadas de escorias y minerales para la elaboración de materiales metálicos (Nota. Tomado de Iron in copper metallurgy at the dawn of the Iron Age: Insights on iron invention from a mining and smelting site in the Caucasus, Erb-Satullo & Klymchuk, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2025.106338>)

Por ello, la localización, disponibilidad, clasificación y procesamiento correcto de los minerales de hierro fueron la base del desarrollo gigantesco de la humanidad en la última era. Bajo este contexto, el hierro es reconocido como el material que marcó un hito en el desarrollo de muchas civilizaciones que han dejado una huella importante en la humanidad (Erb-Satullo, Gilmour, & Khakhutaishvili, 2020; Liss, Levy,

& Day, 2020). Por ejemplo, la egipcia, cuyos vestigios arqueológicos han evidenciado que, aunque fueron maestros en el uso de metales nativos puros (Klemm, Klemm, & Murr, 2001), el uso del hierro no fue ajeno para ellos, pues se localiza en piezas ornamentales en forma de placas en envolturas mortuorias, en utensilios

quirúrgicos empleados en el área de la medicina y en el arte de la momificación. Una de las piezas de gran belleza y llena de misticismo es la daga de Tutankamón, pieza hecha de hierro y adornada con incrustaciones de gran belleza como se observa en la Figura 3 (Comelli et al., 2016).



Figura 3. Daga de hierro del rey Tutankamón (Comelli et al., 2016).

En este contexto, la civilización china tuvo excelentes maestros conocedores de hierro y sus propiedades, lo que les permitió la elaboración de herramientas con este metal para diferentes aplicaciones. Este gran conocimiento estuvo ligado al desarrollo del poderío militar, económico y agrícola del país (Eng, 2016; Li et al., 2025). Sin embargo, se cree que la India en el año 500 a.C. inicia la producción real del acero, con materiales metálicos con propiedades superiores al hierro, un ejemplo es el acero de Damasco, que hoy en

día sigue maravillando. Muchas civilizaciones florecieron gracias al acero y tuvieron una hegemonía como el Imperio Romano, que también mostró avances importantes en la producción masiva de acero, marcando un hito importante en áreas como la militar, la arquitectónica, la médica, etc. Esto permite imaginar cómo el conocimiento de un simple mineral hasta la complejidad en su fundición, refinación y producción a escala industrial (Figura 4), ha permitido el desarrollo de materiales de acero más avanzados (aleaciones).



Figura 4. Diagrama esquemático de la obtención del acero y aleaciones. (Elaboración propia)

Minerales para la obtención del hierro

A pesar del avance en nuevos materiales, es importante destacar que actualmente más del 80% de todas las materias primas, que se utilizan para obtener un producto útil en los sectores industriales como metalúrgico, químico, farmacéutico, cosmético, entre otros, son de origen mineral. En el caso concreto el hierro, es el cuarto elemento más abundante en la tierra (32.07% de la masa de la tierra), su abundancia elemental varía entre aproximadamente el 5% de la corteza terrestre y hasta el 80% del núcleo del planeta (Morgan y Anders, 1980). A pesar de ello, no está en estado puro, localizándose principalmente en minerales con estados de oxidación 2+ y 3+. La lista y clasificación de minerales de hierro es extensa, siendo los más importantes la magnetita (Fe_3O_4), la hematita (Fe_2O_3), la goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$) y la siderita (FeCO_3), como se observan en la Figura 5 (Olmo de Sevilla M., 2016).

De estos minerales, la magnetita y la hematita son las más empleadas para la producción de hierro metálico. Antes de la obtención del hierro, estos minerales pasan por una cadena de operaciones donde son separados de otros contaminantes, cargados en hornos (alto horno) obteniendo el hierro de primera fusión, posteriormente refinados (proceso básico al oxígeno, arco eléctrico) y aleados (acero) como se muestra en la Figura 4. Este acero se usará finalmente en la fabricación de una amplia variedad de materiales metálicos que son cotidianos en nuestra vida.

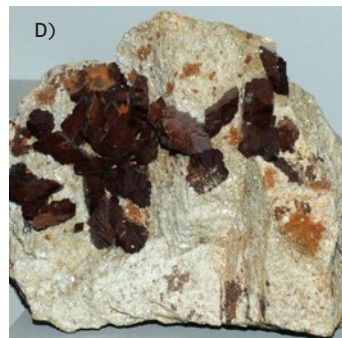
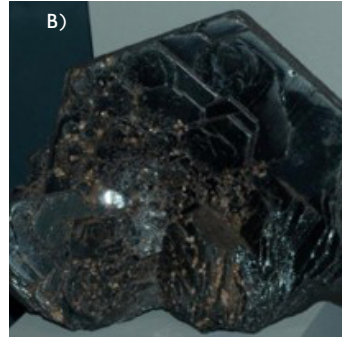


Figura 5. Minerales más relevantes para la producción de hierro: a) magnetita, b) hematita, c) goethita y d) siderita. (M. Olmo, 19 de marzo de 2016)

Desarrollo de aleaciones para instrumentos quirúrgicos.

Con base en los antecedentes históricos, es importante comprender que en todas las culturas del mundo la salud ha tenido un papel importante. Todas estas culturas fueron conocedoras del poder curativo de

las plantas, así como el conocimiento y habilidad en el uso de materiales quirúrgicos empleados en cirugías que representaban la diferencia entre la vida y la muerte (Figura 6).

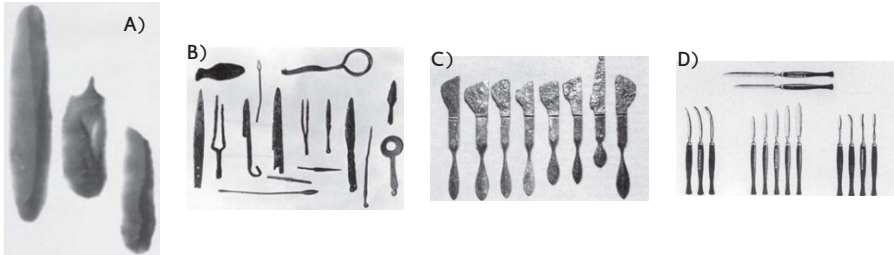


Figura 6. Evolución de instrumentos quirúrgicos: a) herramienta cortante de piedra de hace 30.000-40.000 años, b) instrumentos quirúrgicos griegos (500 a.C.), c) escalpelos romanos (siglo I d.C.) y d) instrumentos de corte del siglo XIX (De la Garza V. L., 2008).

A diferencia de los instrumentos que fueron usados en la antigüedad y que muchos siguen teniendo las mismas funciones. Siendo los siglos XVIII y XIX un período de avance en los instrumentos quirúrgicos debido al uso del acero. Pero a finales del siglo XIX y principios del XX el avance fue mayor, debido a una mayor comprensión del proceso de aleado de aceros que no representan riesgos para la salud del ser humano, ante entornos

altamente corrosivos, como sangre, fluidos corporales, soluciones salinas, soluciones de limpieza y métodos de esterilización, donde el acero inoxidable fue la clave de ese logro. Este material permitió la fabricación de instrumentos resistentes a la corrosión, duros, precisos y fáciles de limpiar. Además de ser fáciles de esterilizar, funcionales y de minimizar el trauma tisular durante la cirugía (Figura 7).



Figura 7. Instrumentos quirúrgicos de acero inoxidable para bisección. (Elaboración propia)

A pesar del avance significativo en el desarrollo de nuevos materiales que están innovando los instrumentos quirúrgicos, la gran mayoría aún se fabrican con acero inoxidable, siendo su origen un mineral en forma de óxido. Entendiendo que un acero inoxidable es una combinación de carbono, cromo, hierro y otros metales llamada aleación. Por ello, estos se clasifican en función de los distintos elementos y cantidades relativas de cada uno de ellos presentes en la matriz de hierro. De forma general se con-

sideran cuatro familias básicas de aceros inoxidables: martensíticos, ferríticos, austeníticos y dúplex. De estas familias los más empleados en la fabricación de instrumental quirúrgico son la serie 300 que pertenece a la familia de los austeníticos ($Cr >16-26 \%$, $Ni: 6-30\%$ y $C < 0.08\%$), serie 400 ferríticos ($C < 0.10\%$; $Cr 16-18\%$) y martensíticos ($C: 0.10 \%$ y $Cr: 12-14 \%$). La Figura 8 muestra la forma de la microestructura de estas aleaciones, así como el tipo de arreglo atómico que poseen (Lindner, 2024).

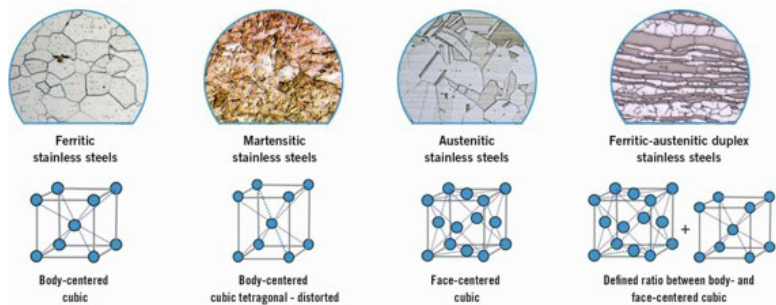


Figura 8. Características típicas de los aceros inoxidables y sus respectivas estructuras cristalinas (Lindner, 2024).

De esta clasificación de aceros inoxidables, las series 300 y 400 son las más empleadas para fines quirúrgicos, como se observa en la Tabla 1 y Figura 9. Esto hace reflexionar que la próxima vez que observemos el uso de

instrumentos quirúrgicos, imaginemos que su origen fue un simple mineral que nuestros antepasados conocieron y que hoy en día, se tiene una tecnología más novedosa para elaborar instrumentos cada vez más complejos.

Tabla 1. Tipo de acero inoxidable comúnmente empleado en materiales quirúrgicos. (elaboración propia)

Tipo AISI*	Familia	Características Principales	Aplicación Quirúrgica
316L	Austenítico	Excelente resistencia a la corrosión, biocompatible	Implantes, instrumental quirúrgico de alta calidad
304	Austenítico	Alta resistencia a la corrosión, buena formabilidad	Instrumental general, bandejas, mangos de bisturí
420	Martensítico	Alta dureza, magnético, resistente al desgaste	Tijeras, bisturís, pinzas de corte
410	Martensítico	Buena resistencia y ductilidad	Pinzas, separadores, instrumental de uso general
440	Martensítico	Máxima dureza (cuchillería)	Puntas de tijeras, instrumentos de microcirugía

*American Iron and Steel Institute



Figura 9. Instrumental quirúrgico de acero inoxidable series 300 y 400.
(Elaboración propia)

Conclusiones

A medida que el conocimiento sobre el uso de los minerales fue ganando terreno para la obtención de hierro y sus respectivas aleaciones de uso médico, es importante recordar que hubo un tiempo en el que los pacientes morían a causa de complicaciones por sus heridas debido al uso de instrumentos que no ofrecían las condiciones de seguridad e higiene. Con el avance e innovación en la ciencia de los materiales, las propiedades de las aleaciones de acero inoxidable de uso quirúrgico han representado menos riesgos para la salud del ser humano, además de prolongar la calidad de vida. Debido a ello, el hierro puede ser considerado como el producto de mayor trascendencia histórica, social y económica de los últimos tres milenios.

Conflicto de intereses

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés. Los autores participantes en la elaboración de este artículo manifestamos no tener ningún conflicto de interés personal o económico.

Declaración de privacidad

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Los autores se descargan de responsabilidad (INTELIGENCIA ARTIFICIAL). Los autores declaran por la presente que NO se han utilizado tecnologías de IA generativa, tales como modelos de lenguaje grandes (ChatGPT, COPILOT, etc.) y generadores de texto a imagen, durante la redacción o edición de este manuscrito

Los datos de este artículo, así como los detalles técnicos para la realización del experimento, se pueden compartir a solicitud directa con el autor de la correspondencia. Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Agradecimientos

Todos los autores agradecen el apoyo a la VIEP-BUAP por el apoyo otorgado al proyecto ID Proyecto: 00354-PV/2024.

Referencias

- Comelli, D., D'Orazio, M., Folco, L., El-Halwagy, M., Frizzi, T., Alberti, R., Valentini, G. (2016). The meteoritic origin of Tutankhamun's iron dagger blade. *Meteoritics & Planetary Science*, 51. doi:10.1111/maps.12664
- Cuesta-Aguirre, D. R., Campoy-Caballero, M. R., Sandoval-Ávila, C., Busquets i Costa, C., Fàbregas i Espadaler, M., Sinner, A. G., Santos, C. (2025). Mitochondrial DNA diversity in northeast Iberians during the Iron Age. *Journal of Archaeological Science*, 183, 106390. doi:https://doi.org/10.1016/j.jas.2025.106390
- De la Garza V. L. (2008). Bisturíes, agujas y suturas: La evolución del material básico de la cirugía. *Cir Gen*, 30(4), 224-230.
- Eng, J. T. (2016). A bioarchaeological study of osteoarthritis among populations of northern China and Mongolia during the Bronze Age to Iron Age transition to nomadic pastoralism. *Quaternary International*, 405, 172-185. doi:https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.072
- Erb-Satullo, N. L., Gilmour, B. J. J., & Khakhutaishvili, N. (2014). Late Bronze and Early Iron Age copper smelting technologies in the South Caucasus: the view from ancient Colchis c. 1500–600 BC. *Journal of Archaeological Science*, 49, 147-159. doi:https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.03.034
- Erb-Satullo, N. L., Gilmour, B. J. J., & Khakhutaishvili, N. (2020). The metal behind the myths: iron metallurgy in the south-eastern Black Sea region. *Antiquity*, 94(374), 401-419. doi:10.15184/aqy.2020.16
- Erb-Satullo, N. L., & Klymchuk, B. W. (2025). Iron in copper metallurgy at the dawn of the Iron Age: Insights on iron invention from a mining and smelting site in the Caucasus. *Journal of Archaeological Science*, 183, 106338. doi:https://doi.org/10.1016/j.jas.2025.106338
- Hervé, G., Marmara, M., Chauvin, A., Vaschalde, C., Martin-Kobierzyki, E., Brossier, B., & Demory, F. (2025). How long were alignments of heating stones hearths used during the Early Iron Age in Western Europe? Evidence of a long chronology by archaeomagnetic dating at Saint-Maximin-la-Sainte-Baume (Southern France). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 66, 105241. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2025.105241
- Kiss, T. (2016). Edad de Piedra. *Enciclopedia Humanidades* (Recuperado el 17 de marzo de 2026). Retrieved from https://humanidades.com/edad-de-piedra/
- Klemm, D., Klemm, R., & Murr, A. (2001). Gold of the Pharaohs – 6000 years of gold mining in Egypt and Nubia. *Journal of African Earth Sciences*, 33(3), 643-659. doi:https://doi.org/10.1016/S0899-5362(01)00094-X
- Li, B., Li, T., Li, P., Wu, Y., Chen, W., She, J., Liu, C. (2025). Foxtail agricultural development and organic fertilizer for farmland management in the central region of the North China plain during the Bronze Age and Iron Age. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 63, 105082. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2025.105082
- Lindner, S. (2024). CO2 Reduction Potential of Sustainable Stainless Steel. *MTZ worldwide*, 85(9), 48-53. https://doi.org/10.1007/s38313-024-1954-9
- Liss, B., Levy, T. E., & Day, J. M. D. (2020). Origin of iron production in the Eastern Mediterranean: Osmium isotope and highly siderophile element evidence from Iron Age Jordan. *Journal of Archaeological Science*, 122, 105227. doi:https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105227
- Olmo de Sevilla, M. (2016). Minerales (Recuperado 19 de marzo de 2026). http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Geophysics/mineral.html#c1
- Sabatini, S., Nordvall, L., Nowak, K., Stos-Gale, Z., Oudbashi, O., Sobieraj, J., Wranning, P. (2025). Iron age metal trade between the Atlantic and the Baltic Sea: new insights from the first complete plano-convex ingot found in Sweden and ingot rods from the Ilawa Lakeland in northeastern Poland. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 66, 105312. doi:https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2025.105312
- Schmid, V. C., Sifogeorgaki, I., Abruzzese, T., Blik, S., Huang, L., & Dusseldorp, G. L. (2026). Wind(ow) of change: The end of the Middle Stone Age and the beginning of the Later Stone Age at Umhlatuzana rockshelter showcasing concurrent technological and techno-economic shifts. *Quaternary Science Reviews*, 377, 109806. doi:https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2026.109806
- Wikimedia, (2010). Recuperado el 19 March 2026. https://es.wikipedia.org/wiki/Raspador