

Sección: Hot Science

Hierro y anemia: Cómo el organismo regula un microelemento esencial

Iron and anemia: How the body regulates an essential trace element

Jacqueline Rodríguez-Ramos¹
Eristeo García-Márquez^{2*}

¹Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), Eugenio Garza Sada 2501, 64700, Monterrey, Nuevo León, México.

²Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), Unidad Noreste, Parque PIIT, Vía de La Innovación 404, 66628, Apodaca, Nuevo León, México.

Autor para la correspondencia: egarcia@ciatej.mx

RESUMEN

El hierro participa en el transporte de oxígeno y en diversos procesos metabólicos esenciales para el organismo. Su deficiencia constituye la principal causa de anemia ferropénica, uno de los trastornos nutricionales más prevalentes a nivel mundial, un importante problema de salud pública, especialmente en niños, mujeres en edad reproductiva y adultos mayores. Aunque existen estrategias eficaces para su prevención y tratamiento, las alternativas naturales han recibido menor atención científica. Esta revisión analiza el metabolismo, la absorción y regulación del hierro, así como las estrategias convencionales y naturales para prevenir y tratar la anemia ferropénica.

Palabras clave: Anemia ferropénica, biodisponibilidad del hierro, suplementación y fortificación.

SUMMARY

Iron plays a critical role in oxygen transport and numerous metabolic processes essential for human health. Iron deficiency is the leading cause of iron-deficiency anemia, one of the most prevalent nutritional disorders worldwide and a major public health concern, particularly among children, women of reproductive age, and older adults. Although effective strategies are available for its prevention and treatment, natural alternatives have received comparatively less scientific attention. This review examines iron metabolism, absorption, and regulation, as well as conventional and natural strategies for the prevention and treatment of iron-deficiency anemia.

Keywords: Iron-deficiency anaemia, iron bioavailability, supplementation and fortification.

La anemia ferropénica: un problema global de salud

La anemia es la disminución de la concentración de hemoglobina la cual causa reducción de transporte de oxígeno en la sangre, uno de los trastornos de salud prevalentes a nivel mundial [1]. Se estima que aproximadamente una de cada cuatro personas padece algún tipo de anemia, lo que equivale a cerca de dos mil setenta y cinco millones de individuos en todo el mundo [2].

La anemia se caracteriza por una baja concentración de hemoglobina funcional. La hemoglobina es una proteína presente en los glóbulos rojos y su función principal es el transporte de oxígeno, desde los pulmones hacia los tejidos [3]. La concentración adecuada de hemoglobina varía de acuerdo a la edad y el sexo de la persona. Cuando los niveles de hemoglobina disminuyen, los tejidos reciben menos oxígeno, provocando síntomas como fatiga, debilidad, palidez, dificultad de concen-

tración cognitiva y disminución del rendimiento físico [2, 4].

La hemoglobina está estructurada por cuatro cadenas de proteína (globina), cada una de ellas asociada a un grupo hemo (Figura 1). Gracias a esta estructura, el grupo hemo permite la unión de un ion ferroso (Fe^{2+}), el cual posteriormente se une a una molécula de oxígeno [4].

Además de una ingesta insuficiente de hierro, la anemia puede originarse por pérdidas sanguíneas, trastornos gastrointestinales o enfermedades inflamatorias que afectan el metabolismo de este mineral. Sin embargo, la anemia ferropénica afecta principalmente a grupos vulnerables, entre ellos niños menores de cinco años, mujeres en edad reproductiva y adultos mayores.

El desarrollo físico de los infantes en esta etapa exige requerimientos de hierro más altos, por lo que una baja ingesta de este mineral puede conllevar a la evolución de esta enfer-

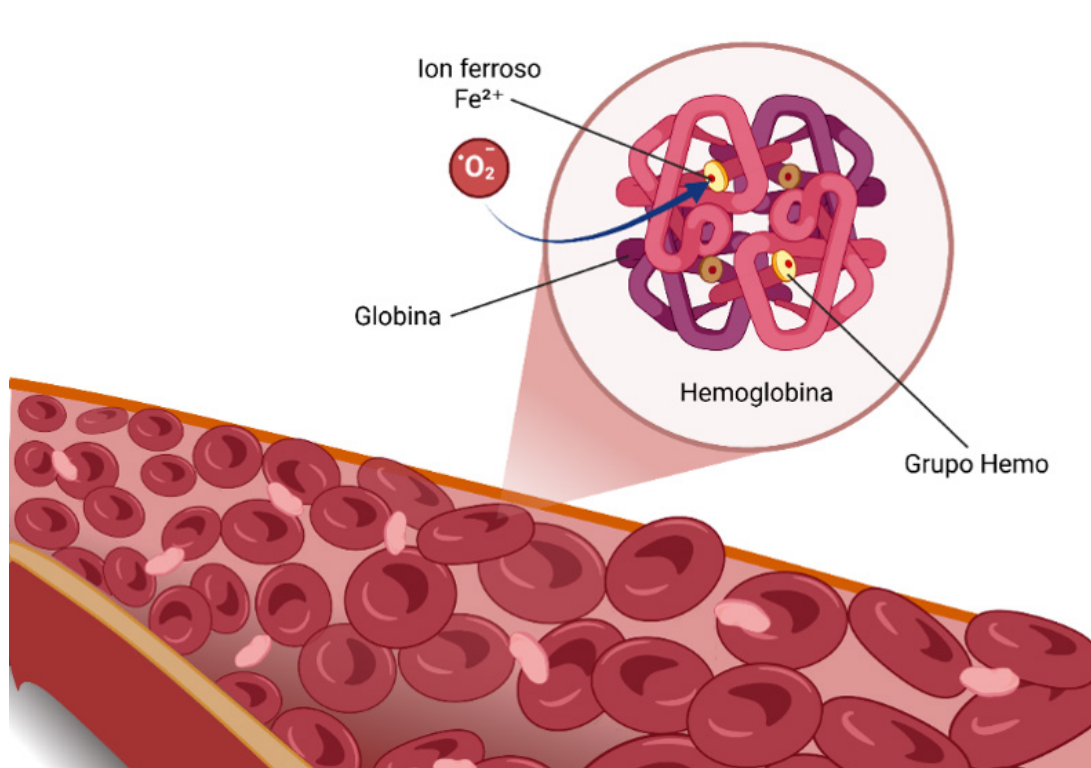


Figura 1. Estructura de la hemoglobina formada por cuatro cadenas de globina, cada una con un grupo hemo diseñado para fijar una molécula de oxígeno. Imagen diseñada en BioRender.

medad. En las mujeres, la pérdida de sangre durante su ciclo biológico y las demandas fisiológicas del embarazo, aumentan el riesgo de deficiencia de este microelemento. En adultos mayores, la anemia puede asociarse con las enfermedades crónicas, inflamación sistémica y alteraciones de la absorción intestinal [3,5].

El hierro y su función en el organismo

Químicamente, el hierro puede existir en dos estados de oxidación principales: hierro ferroso (Fe^{2+}) y hierro férrico (Fe^{3+}). El hierro en estado ferroso es más soluble, lo que facilita su entrada a las células del intestino. En cambio, el hierro férrico, tiende a formar compuestos insolubles reduciendo la absorción en el organismo, por lo que necesita reducirse a su forma ferrosa [4, 6].

Aunque el hierro es indispensable para la salud humana, su presencia libre puede resultar perjudicial, es decir, cuando este no se encuentra sujeto a una molécula como una proteína. El hierro ferroso puede reaccionar con peróxido de hidrógeno a través de la reacción de Fenton, generando radicales hidroxilos altamente reactivos capaces de dañar proteínas, lípidos y ADN, provocando estrés oxidativo celular [6].

Para evitar estos efectos, el organismo mantiene el hierro unido a proteínas especializadas que regulan el transporte y almacenamiento. Entre las proteínas con mayor relevancia fisiológica destaca la transferrina, principal transportador de hierro, y la ferritina, proteína de almacenamiento intracelular. La transferrina distribuye el hierro hacia los tejidos de acuerdo con los requerimientos metabólicos, mientras que la ferritina es responsable de su almacenamiento seguro, principalmente en el hígado, el bazo y la médula ósea [5].

Absorción y regulación del hierro

Desde su ingesta hasta su llegada al intestino delgado, el hierro experimenta diversos fenómenos bioquímicos que favorecen su absorción y utilización por el organismo. Debido a que el cuerpo humano posee mecanismos limitados para eliminar el exceso de hierro, la homeostasis de este mineral se regula principalmente mediante el control de su absorción intestinal.

El hierro presente en la dieta puede encontrarse de dos maneras principales: hierro hémico y hierro no hémico. El hierro hémico es más biodisponible, su absorción varía entre el 15% y el 35%; y puede obtenerse de alimentos como carnes rojas, pescado y aves. En contraste, el hierro no hémico posee absorción más variable, entre el 1% y el 10%, lo que lo hace significativamente menos biodisponible que el hierro hémico. Este se encuentra principalmente en alimentos de origen vegetal, como cereales, legumbres y verduras [1, 4, 6], (Figura 2). Sin embargo, la biodisponibilidad del hierro no depende únicamente de su origen animal o vegetal, sino que también de la composición de la matriz del alimento y de la presencia de potenciadores o inhibidores de absorción [1].

La absorción del hierro proveniente de los alimentos, ocurre principalmente en el duodeno, la primera porción del intestino delgado. Durante la digestión, el hierro no hémico, que se encuentra predominantemente en forma férrica (Fe^{3+}), es una especie química poco soluble a pH fisiológico. Para ser absorbido, debe ser reducido a hierro ferroso (Fe^{2+}) por la enzima citocromo b duodenal (Dcytb), presente en el borde en cepillo de los enterocitos. Asimismo, el ácido ascórbico (vitamina C) favorece este proceso al reducir el hierro férrico y formar complejos solubles que mantienen su biodisponibilidad, incluso en regiones intestinales con un pH menos ácido [1, 4], (ver Figura 2). Una vez reducido, el hierro ferroso es transportado al interior del enterocito mediante el transportador de metales divalentes 1 (DMT1) [6].

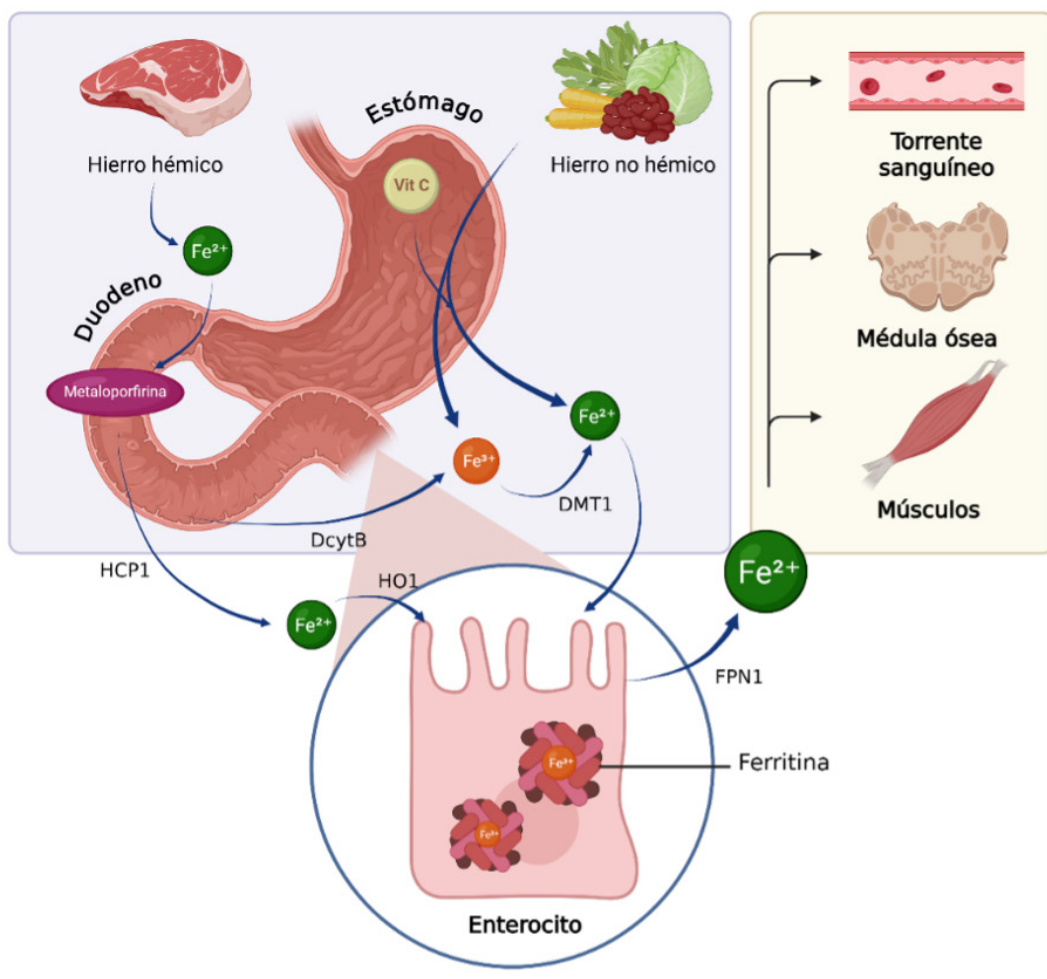


Figura 2. Absorción y homeostasis del hierro en el organismo. Imagen diseñada en BioRender.

Por otro lado, el hierro hémico, derivado principalmente de alimentos de origen animal, llega al duodeno formando parte del grupo hemo, una estructura de tipo metaloporfirina. Debido a que esta forma de hierro no requiere reducción previa para su absorción, el grupo hemo es introducido por los enterocitos mediante transportadores específicos involucrados en su captación, entre ellos HCP1 (acarreador proteico hemo 1). Posteriormente, la enzima hemo oxigenasa cataliza la degradación intracelular del grupo hemo, liberando hierro ferroso (Fe^{2+}), el cual puede incorporarse al metabolismo celular o ser exportado hacia la circulación sistémica [1, 6].

Una vez el hierro se encuentra dentro del enterocito, este puede seguir dos rutas princi-

pales, dependiendo de las reservas corporales del organismo. Cuando las concentraciones de hierro son suficientes, el mineral es almacenado intracelularmente unido a ferritina, una proteína capaz de quelar y almacenar átomos de hierro de forma segura, reduciendo así reacciones oxidativas. En cambio, cuando existe una demanda fisiológica elevada, el hierro es exportado hacia la circulación sistémica a través de la ferroportina (FPN1), la única proteína exportadora de hierro identificada en mamíferos. La regulación de este proceso depende principalmente de la hepcidina, una hormona producida en el hígado que actúa como regulador de la homeostasis del hierro. Cuando las reservas corporales son altas o existe inflamación sistémica, la producción de hepcidina au-

menta. La hepcidina se une a la ferroportina presente en enterocitos, macrófagos y hepatocitos, promoviendo la internalización y degradación. En consecuencia, disminuye la liberación de hierro hacia la circulación, reduciendo tanto la absorción intestinal como la movilización del hierro almacenado en los tejidos [4].

Finalmente, el hierro exportado por la ferroportina es oxidado de Fe^{2+} a Fe^{3+} por ferroxidasas como la hefaestina y la ceruloplasmina, permitiendo su unión a la transferrina plasmática. Esta proteína transporta el hierro a diferentes tejidos, principalmente a la médula ósea para la síntesis de hemoglobina, así como al hígado y al músculo esquelético, donde participa en procesos de almacenamiento y metabolismo energético.

Estrategias nutricionales para combatir la anemia

Diversas estrategias se han implementado para prevenir y tratar la anemia ferropénica. Entre las más importantes se encuentran la suplementación farmacológica, la fortificación de alimentos e intervenciones dietéticas. Los suplementos orales de hierro constituyen una de las estrategias más utilizadas para tratar la prevención de la anemia. Entre estas, las sales ferrosas como el sulfato ferroso, se emplean ampliamente debido a su bajo costo, disponibilidad y adecuada biodisponibilidad. Sin embargo, su consumo prolongado o dosis elevada se asocia con efectos secundarios gastrointestinales como náuseas, estreñimiento e irritación intestinal. Además, también se ha detectado el sabor metálico desagradable, lo que puede disminuir la adherencia al tratamiento. La fortificación, consiste en añadir hierro en los alimentos de consumo habitual con el objetivo de mejorar el estado nutricional de la población. Esta estrategia se ha aplicado en diversos países mediante la fortificación de harinas, cereales y productos infantiles, contribuyendo a reducir la prevalencia de anemia en poblacio-

nes vulnerables [7]. Además de las estrategias convencionales, diversas investigaciones han explorado alimentos y plantas con potencial para mejorar el estado nutricional del hierro.

Moringa oleífera

Las hojas de esta planta contienen hierro, vitamina C y compuestos antioxidantes de interés nutricional. Debido a su alta densidad nutricional, la moringa ha sido propuesta como ingrediente funcional en alimentos destinados a poblaciones con riesgo de deficiencia de micronutrientes. No obstante, la evidencia disponible aún es limitada, por ello, no puede tratarse como un tratamiento convencional cuando existe anemia ferropénica diagnosticada.

Justicia spicigera

Conocida como muicle, esta planta es utilizada en la medicina tradicional mexicana para el tratamiento de diversas afecciones. Su hojas y tallos contienen flavonoides, compuestos fenólicos y otros metabolitos con propiedades antioxidantes, demostrada en estudios experimentales. Debido a estas propiedades, ha sido usada como un remedio para reducir los trastornos sanguíneos como la anemia. Se ha reportado que los extractos de sus hojas incrementan los niveles de hemoglobina; aunque la evidencia clínica aplicada en humanos es limitada. Por lo tanto, aunque su uso tradicional respalda su potencial, se requieren estudios clínicos controlados para confirmar su eficacia, además de establecer los mecanismos biológicos involucrados.

Sorghum bicolor

El sorgo es un cereal ampliamente consumido en diversas regiones del mundo. Contiene polifenoles con propiedades antioxidantes que podrían contribuir a mejorar el estado nutricional en condiciones asociadas con estrés oxidativo. Aunque esta fuente natural muestra potencial nutricional, se requieren más estudios clínicos en humanos para confirmar su eficacia en la prevención o tratamiento de la

anemia ferropénica.

Conclusiones

El hierro es un micronutriente indispensable para el funcionamiento adecuado del organismo. Su deficiencia constituye la principal causa de anemia ferropénica, una enfermedad que continúa siendo uno de los problemas nutricionales más extendidos a nivel mundial.

El metabolismo del hierro es un proceso altamente regulado que depende de la absorción intestinal, el transporte sanguíneo y el almacenamiento celular. La hormona hepcidina desempeña un papel central en la regulación de este sistema, permitiendo mantener el equilibrio entre la disponibilidad y la seguridad del hierro en el organismo.

Las estrategias actuales para combatir la anemia incluyen la suplementación con hierro y la fortificación de alimentos. Al mismo tiempo, el estudio de alimentos funcionales y fuentes vegetales ricas en hierro representan líneas prometedoras para mejorar la nutrición y reducir la prevalencia de esta deficiencia en poblaciones vulnerables.

Agradecimientos

Agradezco al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) por el apoyo brindado y permitir la generación del presente artículo en el laboratorio de Investigación y Desarrollo de CIATEJ Subsede Noreste. Las figuras presentadas fueron diseñadas utilizando BioRender.

Referencias

[1] Cotoraci, C., Ciceu, A., Sasu, A., & Hermenean, A. (2021). Natural antioxidants in anemia treatment. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), Article 1883. <https://doi.org/10.3390/ijms22041883>

[2] González-Meza, G. M., Elizondo-Luevano, J. H., Peña-Borrayo, A., Martínez-Ávila, G. C. G., Garzoli, S., Kačániová, M., García-Márquez, E., & Castillo-Hernández, S. L. (2026). Common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a sustainable nutritional strategy to mitigate iron deficiency anemia. *Chemistry & Biodiversity*, 23(6), e03651. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202503651>

[3] Obeagu, E. I. (2026). Hemoglobin and human longevity: Integrating oxygen transport, redox biology, and aging pathways—A narrative review. *Annals of Medicine & Surgery*, 88, 580–586. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000004508>

[4] Wacka, E., Nicikowski, J., Jarmuzek, P., & Zembron-Lacny, A. (2024). Anemia and its connections to inflammation in older adults: A review. *Journal of Clinical Medicine*, 13, Article 2049. <https://doi.org/10.3390/jcm13072049>

[5] Zhong, M., Wang, Y., Min, J., & Wang, F. (2025). Iron metabolism and ferroptosis in human health and disease. *BMC Biology*, 23. <https://doi.org/10.1186/s12915-025-02378-6>

[6] Horváth, A., Tamási, K., Pap, R., Jánosa, G., & Pandur, E. (2026). Iron, the essential micronutrient: A comprehensive review of regulatory pathways of iron metabolism. *Nutrients*, 18, Article 109. <https://doi.org/10.3390/nu18010109>

[7] Liberal, Â., Pinela, J., Vívar-Quintana, A. M., Ferreira, I. C. F. R., & Barros, L. (2020). Fighting iron-deficiency anemia: Innovations in food fortificants and biofortification strategies. *Foods*, 9(12), Article 1871. <https://doi.org/10.3390/foods9121871>