



Actualidades de las características del hierro y su uso en pediatría

RESUMEN

Se revisan diversos aspectos del hierro: datos epidemiológicos y fisiológicos recientes, factores que regulan su absorción y que aumentan o reducen su biodisponibilidad; se evalúa el contenido y porcentaje de biodisponibilidad del hierro de diferentes alimentos y productos a través de tablas comparativas. Se destaca la importancia y la razón de un adecuado suplemento y la elección apropiada de fuentes alimentarias.

Palabras clave: hierro, biodisponibilidad, absorción, lactoferrina, dializabilidad, hierro hemínico, hierro no hemínico.

Tania Tostado-Madrid¹
Iván Benítez-Ruiz²
Adriana Pinzón-Navarro³
Miriam Bautista-Silva³
Jaime A Ramírez-Mayans⁵

¹ Practicante.

² Servicio Social.

³ Adscrita en el servicio de Gastroalimentación.

⁴ Jefe del Servicio de Gastroalimentación.

Instituto Nacional de Pediatría, México.

News of the characteristics of iron and its use in pediatrics

ABSTRACT

We review various aspects of iron: recent epidemiological data, physiological data such as factors regulating its absorption, increased or decreased its bioavailability, highlighting the importance and reason for an adequate supplementation; the choice of appropriate food sources; evaluation in comparative tables of the iron content and bioavailability percentage of different foods and train milk formulas.

Key words: iron, bioavailability, absorption, lactoferrin, dialyzability, heme iron, non-heme iron.

Recibido: 13 de febrero del 2014

Aceptado: 17 de febrero del 2015

Correspondencia: LN Iván Gerardo Benítez Ruiz
Prolongación Independencia no. 401
CP 38900 Salvatierra, Guanajuato
nutivan@outlook.es

Este artículo debe citarse como

Tostado-Madrid T, Benítez-Ruiz I, Pinzón-Navarro A, Bautista-Silva M, Ramírez-Mayans JA. Actualidades de las características del hierro y su uso en pediatría. Acta Pediatr Mex 2015;36:189-200.

INTRODUCCIÓN

El hierro es un metal con funciones de gran importancia debido a que participa en procesos vitales para el ser humano como la respiración celular y los sistemas enzimáticos responsables de la integridad celular. En la naturaleza se encuentra principalmente como óxido, hidróxido férrico o como polímeros. En el organismo el hierro puede actuar como:

1. funcional: formando numerosos compuestos, entre ellos \approx 65% hemoglobina, 15% enzimas que lo utilizan como co-factor o grupo prostético (catalasas, peroxidases, oxigenasas y transportador de los citocromos) y mioglobina
2. como hierro de transporte en la transferrina (entre 0.1 y 0.2%)
3. como hierro de depósito formando la ferritina y la hemosiderina (20%)^{1,2}

Una pequeña parte del hierro sale de la célula intestinal por microhemorragia y descamación de la célula intestinal; es excretado por las heces, la orina, el sudor y descamación de la piel y faneras (pelo y uñas), por lo que se debe reponer siempre en la dieta.¹ Debido a que tanto su deficiencia como su exceso pueden afectar funciones importantes, su metabolismo debe estar estrictamente controlado. Se sabe que en niños de 0 a 2 años se pierden alrededor de 0.04 mg/kg/d y en niños de 2 a 8 años 0.03 mg/kg/d.^{2,3}

Absorción del hierro

Sólo se absorbe, aproximadamente, 10% del hierro de la dieta y la absorción depende de factores promotores o inhibidores y puede darse una variación en la absorción de hasta 50%.³ La dializabilidad es un indicador de la biodisponibilidad potencial. Dicho indicador se obtiene con un método *in vitro* en el que interviene una

digestión enzimática en condiciones que simulan a las fisiológicas.⁴

Un estudio demostró un aumento del porcentaje de dializabilidad del hierro en tres tipos de cereales fortificados con FeNa_2 EDTA (sal férrica sódica del ácido etilendiaminotetraacético), especialmente en aquellos que no se consumen con leche.⁵

Regulación de la absorción por eventos fisiológicos y requerimientos de hierro

El hierro ingerido por vía oral ingresa al tubo digestivo y en su etapa digestiva es degradado inicialmente en el estómago por acción de la pepsina y el ácido clorhídrico, primeros promotores de su solubilización, que condicionan un ambiente ácido (\approx pH 2.0), lo cual reduce el hierro de su estado férrico a ferroso. La absorción del hierro se realiza principalmente en el duodeno y en la parte superior del yeyuno.

El intestino delgado también participa de este proceso, en este órgano es sometido a factores intraluminales que mejoran o disminuyen su absorción. La secreción pancreática de bicarbonato aumenta el pH intestinal y por lo tanto forma quelatos insolubles.¹ Los enterocitos de la cripta intestinal identifican los requerimientos de hierro constantemente y regulan su absorción con base en diversos mecanismos. El regulador alimentario es dependiente de la cantidad de hierro que se ha consumido recientemente. El regulador de los depósitos responde a la suma de hierro almacenado en el organismo. El regulador eritropoyético no se asocia particularmente con la cantidad de hierro corporal, sino con los requerimientos del metal para la eritropoyesis.

Otros factores que influye en la absorción del hierro están relacionados con su metabolismo como la deficiencia, la anemia hemolítica y la hipoxia, que la aumentan; o procesos infecciosos

o inflamatorios, así como la hemocromatosis que la disminuyen.²

En estado de equilibrio férrico se absorbe alrededor de 15% del hierro, cuando hay deficiencia puede absorberse hasta 35%. La absorción del hierro está inversamente relacionada con los mecanismos mencionados; en el caso de los depósitos de hierro influye de forma más marcada en el hierro no hemínico.⁶

Se ha comprobado que estos mecanismos son modulados directamente por la hepcidina, hormona peptídica sintetizada en el hígado que regula la absorción, y la movilización del hierro correspondiendo el reciclaje del mismo a los macrófagos, cuya expresión es afectada por los requerimientos de hierro del organismo.⁷ Se ha comprobado que esta hormona, debido a su papel en el metabolismo del hierro, se relaciona directamente con casos de anemia crónica, así como con la deficiencia de hierro asociada con la obesidad.⁸

Regulación de la absorción por tipo de hierro

En soluciones acuosas el hierro puede encontrarse en dos estados estables de oxidación: ferroso (Fe^{2+}) y férrico (Fe^{3+}), lo que le permite participar en reacciones como el control del flujo de electrones en rutas bioenergéticas, síntesis de ácido desoxirribonucleico (ADN) y en la oxigenación tisular. Para su absorción el hierro debe encontrarse en estado ferroso (Fe^{2+}).

En los seres humanos la absorción de la cantidad de hierro ingerida es limitada por el tipo de hierro que compone al alimento. Existen dos formas de hierro en los alimentos: el hemínico y el no hemínico, el primero permite mayor absorción.

Hierro hemínico

El hierro hemínico se genera por medio de la degradación de la hemoglobina y de la mioglobina;

ambas son hemoproteínas transportadoras de oxígeno constituidas por cadenas polipeptídicas; cada una va unida a un grupo prostético llamado hemo. Por lo tanto, cuando el átomo de hierro proviene de estas proteínas se obtiene en forma de *grupo hemo* compuesto por el átomo en estado ferroso (Fe^{2+}) y un anillo tetrapirrólico (protoporfirina). El grupo hemo recibe distintos nombres: heme, hierro hemínico, ferroprotoporfirina, Fe-protoporfirina IX o protoporfirina ferrosa.¹ El hierro se encuentra en el organismo principalmente en forma de hemo en 70%.⁹

Cuando se ingieren alimentos con hierro hemínico en su digestión la hemoglobina y la mioglobina son degradadas en el estómago por acción del ácido clorhídrico y la pepsina, especialmente por enzimas pancreáticas en el lumen intestinal, liberando el grupo hemo que queda estabilizado por los productos de la degradación de la globina junto con otros componentes de la dieta (Cuadros 1a y 1b), lo que impide la formación de dímeros y grandes agregados de hemo y garantiza su disponibilidad.²

El grupo hemo ingresa al enterocito como metaloporfirina intacta.⁹ Existen distintos mecanismos por los cuales el hierro puede atravesar la membrana apical del enterocito. Ejemplo de esto son la endocitosis mediada por un receptor o la captación mediada por una proteína transportadora de hemo, HCP-1.

En el citosol la hemooxigenasa libera el hierro de la estructura tetrapirrólica (grupo hemo). Una parte del Fe^{2+} es almacenada como ferritina o como hemosiderina en menores cantidades, mientras que la otra cantidad de hierro es utilizada pasando a la circulación sanguínea por medio de la ferroportina, donde es oxidada de Fe^{2+} a Fe^{3+} por la hefaestina o la ceruloplasmina plasmática, la cual se une a la apotransferrina circulante convirtiéndose en transferrina sérica, medio de transporte del hierro a través de la cir-

Cuadro 1a. Factores que favorecen o inhiben la absorción del hierro

Factores que favorecen la absorción	Efectos en la absorción	Alimentos fuente de estos factores
Ácido ascórbico y ácidos orgánicos	Reduce el hierro férrico (Fe^{3+}) a ferroso (Fe^{2+}) en 75 a 98%, previniendo la formación de hidróxido férrico insoluble. La vitamina C, en relaciones molares con hierro superiores a 1:1 (≈ 25 mg) es capaz de duplicar la absorción del hierro no hemínico de la dieta, inclusive en presencia de factores dietéticos inhibidores. Existen otros ácidos orgánicos promotores de la biodisponibilidad del hierro como el láctico, cítrico, málico y tartárico.	Forman compuestos solubles ^a Naranja Limón Guayaba Mandarina Kiwi Ciruela Fresas Melón Brócoli Tomates Pimiento Vegetales de hoja verde (espinacas, perejil) Papa
Vitamina A y β -caroteno	Disminuye el efecto inhibitor de los fitatos y polifenoles.	Zanahoria Brócoli Hígado Mantequilla Leche Berros Mango Yema de huevo
Factor cárnico	La digestión de la carne, aves y pescado libera aminoácidos y polipéptidos en el intestino delgado que forman los complejos con el hierro no hemínico solubles absorbibles. Se recomienda consumirlos entre 90 y 100 g para mejorar la biodisponibilidad del hierro no hemínico.	Carne de res y de cerdo, ^b vísceras, en especial hígado y moronga. Aves de corral como pollo. Pescados como pescado azul y blanco; moluscos, almeja fresca y jugo de almeja, ostión.
Azúcares	El sorbitol, manitol y la xilosa, incrementan la capacidad de absorción de hierro presente en preparados orales. La fructosa y la lactosa aumentan la biodisponibilidad en los alimentos.	Sábila Alga café Compuestos leñosos Mazorca de maíz Edulcorantes

^a Además de los efectos descritos, los factores que promueven la absorción del hierro, forman compuestos solubles con el mineral. El ácido ascórbico con hierro forma hierro aminoquelado, soluble en la luz intestinal.

^b La carne es la principal fuente de hierro hemínico y eleva la absorción del hierro no hemínico.

culación sanguínea para cumplir sus funciones (Figura 1).^{2,3} Existen evidencias de que parte del hemo que entra al enterocito ingresa y sale de la célula como metaloproteína intacta, sin ser disociado el ion ferroso.¹

La hemoglobina se encuentra en los eritrocitos de la sangre y la mioglobina existe en el músculo.

Se encuentra en las carnes, especialmente en las rojas, por lo que el hierro hemínico se puede obtener del tejido de los animales. Además, este tipo de hierro es posible conseguirlo de aves de corral y de pescado. Únicamente se encuentra en estos alimentos, motivo por el cual se recomienda ampliamente su consumo para obtener buenas fuentes de hierro de alta biodisponibilidad.¹⁰

Cuadro 1b. Factores que inhiben la absorción del hierro

Factores que inhiben la absorción del hierro	Efectos en la absorción	Alimentos fuente de estos factores
Calcio	Interfiere considerablemente en los porcentajes de absorción, tanto del hierro hemínico como del no hemínico, reduciendo la tasa de biodisponibilidad entre 30 y 50%.	Leche y derivados Citrato de calcio Carbonato de calcio
Fitatos	Los derivados hexa y pentafofosatos del ácido fítico presente forman complejos insolubles a un pH cercano a la neutralidad impidiendo así la dializabilidad del hierro.	Semillas de cereales Leguminosas Oleaginosas
Polifenoles (taninos)	Debido a sus numerosos radicales hidroxilo se unen fuertemente a metales, entre ellos al Fe, propiedad que les confiere la capacidad de ser fuertes inhibidores de la absorción, disminuyéndola hasta en 60%.	Té, café, leguminosas, espinacas, cereales
Carbonatos	Existen principalmente en las leguminosas, pero debido a su carácter termolábil se logra reducir su concentración con el proceso de cocción y se disminuye la interferencia con la absorción del hierro.	Leguminosas
Oxalatos	Debido a su carácter termolábil se logra reducir su concentración con el proceso de cocción y se disminuye la interferencia con la absorción del hierro.	Vegetales de color verde Leguminosas
Fosvitina	Disminuye la biodisponibilidad del catión	Yema de huevo

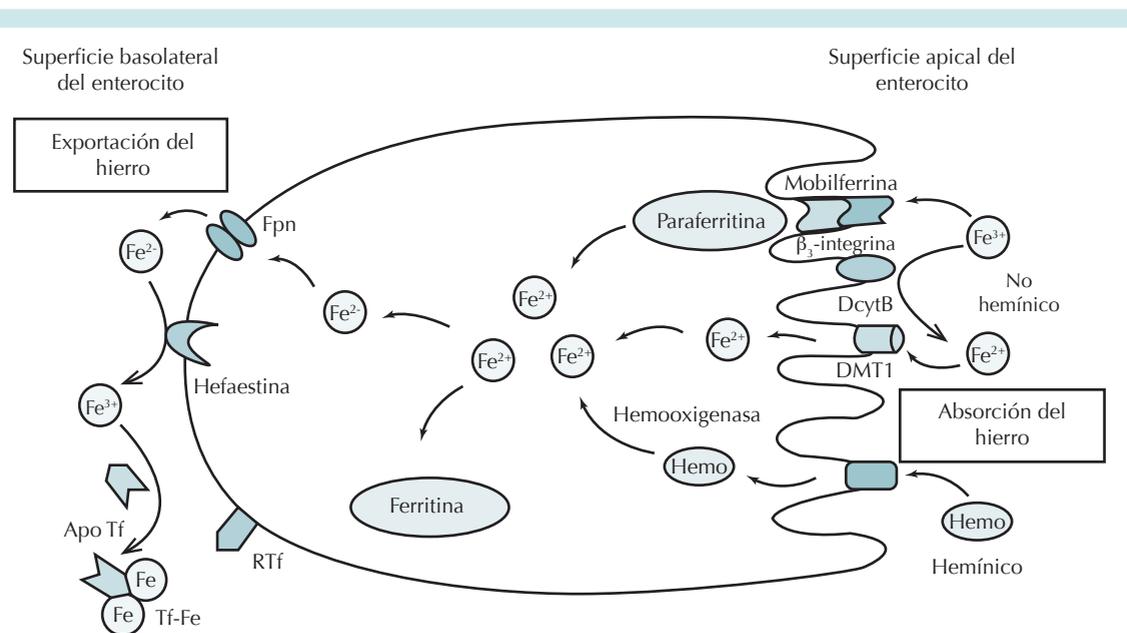
^c Contrario a lo que sucede entre los factores de promoción de absorber el hierro, factores inhibidores del mineral forman con éste compuestos insolubles; como ejemplo de ellos existe el fosfato diférrico.

Hierro no hemínico

El hierro no hemínico puede encontrarse en dos formas químicas: como ferritina no hemínica (FTN, en leguminosas) o como sales y quelados de hierro. Este tipo de hierro está en estado férrico y se obtiene de alimentos adicionados o naturales como leche, huevo, cereales, leguminosas, vegetales y de suplementos farmacológicos como las sales ferrosas. La absorción de este tipo de hierro es pobre debido a que se encuentra en forma de complejos férricos poco solubles y es regulada por factores dietéticos (ácido cítrico, taninos, fitatos) que tienen la capacidad de promoverla o inhibirla (Cuadros 1a y 1b).¹¹

El Fe³⁺ es insoluble en soluciones con pH mayor a 3 por lo que, en el estómago, se forman

complejos solubles del metal (por acción de la pepsina y del ácido clorhídrico [≈ pH 2.0]) lo que aumenta su disponibilidad para ser absorbido en el duodeno. Por otra parte, en el lumen del intestino se forman cantidades variables de iones ferrosos debido a la reducción del hierro férrico por agentes alimentarios (Cuadros 1a y 1b).¹² Al llegar a la membrana los iones férricos pueden ser absorbidos por la b₃-integrina y son transferidos a la mobilferrina. Para atravesar la membrana del enterocito requieren pasar a estado ferroso, de lo cual se encarga la proteína DcytB (*duodenal cytochrome b*) que se encuentra en la superficie apical del enterocito; así pueden ingresar a la célula por el transportador DMT1. Al llegar al citoplasma su destino es el mismo que el de los iones Fe²⁺ liberados del grupo hemo (Figura 1).³



Tf: transferrina; RTf: receptor de transferrina; DMT1: transportador metálico divalente 1; DcytB: citocromo duodenal; Fpn: ferroportina.

Figura 1. Mecanismos de absorción intestinal del hierro.

Modificada de: Pérez G, Vittori D, Pregi N, Garbossa G, Nesse A. Homeostasis del hierro. Mecanismos de absorción, captación celular y regulación. Acta Bioquím Clín Latinoam 2005;39(3):301-14.

Biodisponibilidad del hierro

La biodisponibilidad del hierro se define como la eficiencia con la que se utiliza biológicamente el hierro obtenido de la dieta e implica todos los mecanismos promotores o inhibidores de la absorción del mineral, principalmente el tipo de hierro que contienen los alimentos consumidos.¹³

Tipos de hierro en la dieta

El hierro hemínico se encuentra regularmente en una dieta estándar entre 10 y 20%, mientras que el no hemínico se encuentra en mayores proporciones (80 a 90%). A pesar de esto, el grupo hemo alcanza más de 50% de absorción mientras que el hierro no hemínico sólo de 1

a 10%. La biodisponibilidad del hierro no hemínico varía alrededor de 3% en presencia de factores dietéticos promotores cuando existen reservas adecuadas de hierro (500 mg).^{1,9}

Los factores principales promotores de la absorción son la carne roja, el pescado, las aves y el ácido ascórbico; los principales inhibidores el calcio, los fitatos, los taninos, los fosfatos y la fibra (Cuadros 1a y 1b).

La Organización Mundial de la Salud establece recomendaciones que consideran la biodisponibilidad del hierro de la dieta (Cuadro 2). Según la Encuesta Nacional de Nutrición 1999 (ENN-99) las dietas de preescolares, escolares y mujeres de nuestro país tienen una biodisponibilidad de 5%.⁶

Cuadro 2. Biodisponibilidad de hierro dietético e ingesta diaria recomendada según cantidad de carne y ácido ascórbico en la dieta

Porcentaje de biodisponibilidad		5%	10%	15%
Grado de biodisponibilidad		Baja	Mediana	Alta
Cantidades de promotores de absorción en la dieta	Carne (g)	< 30	30-90	> 90
	Ácido ascórbico (mg)	< 25	25-75	> 75
Requerimientos de hierro (mg)				
Lactancia		30.0	12.5	12.5
Lactantes y niños	0.5-1	18.6*	9.3	7.7
	1-3	11.6	5.8	4.8
	4-6	12.6	6.3	5.3
	7-10	17.8	8.9	7.4
Adolescentes mujeres	11-14**	28.0	14.0	11.7
		65.4	32.7	27.7
	15-17	62.0	31.0	25.8
Adolescentes hombres	18+	58.8	29.4	24.5
	11-14	29.2	14.6	12.2
	15-17	37.6	18.8	15.7
	18+	27.4	13.7	11.4

* La biodisponibilidad de hierro varía ampliamente durante este período.

** Premenarquia.

Modificado de: Olivares Grohnert M, Arredondo Olguin M, Pizarro Aguirre F. Hierro. En: Gil Hernández A. Tratado de Nutrición: Bases Fisiológicas y Bioquímicas de la Nutrición. 2ª edición, México: Editorial Médica Panamericana; 2010. p. 670-86.

Los Cuadros 3 y 4 contienen listas de alimentos que son fuentes de hierro hemínico y no hemínico, con contenido alto (> 7 mg), medio (3 a 7 mg) y bajo (< 3 mg). El no hemínico se divide en biodisponibilidad alta y baja, según la razón molar Fe/fitatos: alta < 10 o baja \geq 10.⁶

Anemia ferropénica

La anemia por deficiencia de hierro (ADH) o anemia ferropénica se caracteriza por la disminución o pérdida de los depósitos de hierro. Es la carencia nutricional más común en el mundo.¹⁴

Los niños son más vulnerables, en especial los lactantes en el momento en que se realiza la ablactación, entre los 4 y 6 meses de vida, por dos motivos: el primero es que de esa edad a los dos años, así como en el embarazo, los requerimientos de hierro se encuentran aumentados (Cuadro 5); por otro lado, debido a una alimentación insuficiente en hierro biodisponible, por el bajo contenido de éste en los alimentos de su

dieta, especialmente en países en desarrollo, o debido a la ignorancia de la madre respecto a la alimentación o a falta de recursos. Además, los niños son más afectados ya que esta carencia se acompaña de un alto riesgo de deterioro irreversible en el desarrollo mental y psicomotor a largo plazo. Está comprobado que estos niños tienen un coeficiente de inteligencia menor, déficit de atención y fácil distracción. Estos problemas tienen consecuencias no sólo individuales sino también sociales.^{6,7}

La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012 (ENSANUT 2012) informó que prevalece la anemia en 23.3% de los preescolares, sobre todo en los varones. Al estratificar por grupo de edad la prevalencia de anemia fue mayor en menores de 2 años, con mayor prevalencia en la zona sur del país y en la Ciudad de México. (Cuadros 5 y 6)

Otro grupo vulnerable es el de lactantes de bajo peso al nacer, lo que se explica por la escasa reserva de hierro en el sistema reticuloendote-

Cuadro 3. Fuentes de hierro no hemínico con biodisponibilidades alta y baja

Contenido de hierro	Fuentes	Biodisponibilidad
Contenido alto (> 7 mg)	Hojuelas de maíz, chiles secos (morita, pasilla, mulato, guajillo)	Alta
	Cereales adicionados listos para comer (altos en fibra), salvado de trigo, soya, frijol blanco, frijol ojo de liebre, alubia, ajonjolí, semilla de calabaza	Baja
Contenido medio (3 a 7 mg)	Cereales adicionados listos para comer (altos en fibra), salvado de trigo, soya, frijol blanco, frijol ojo de liebre, alubia, ajonjolí, semilla de calabaza, perejil, lenteja, garbanzo	Alta
	Germen de trigo, frijol azufrado, bayo, negro, haba seca, avellana, cacahuete	Baja
Contenido bajo (> 3 mg)	Pan de trigo (dulce y salado), hojas de chaya, flor de calabaza, flor de colorín, papaloquelite, bledos, poro, huaunzontle, nanche, capulín, zapote borracho, guaje verde, quelite, leche fresca de vaca, queso maduro y queso fresco	Alta
	Arroz, pasta de trigo no adicionada, tortilla, nuez de Castilla	Baja

Modificado de: Rivera Dommarco J, Hotz C, Rodríguez Ramírez S, García Guerra A, Pérez Expósito AB, Martínez H, et al. Hierro. En: Bourges H, Casanueva E, Rosado J. Recomendaciones de ingestión de nutrimentos para la población mexicana. México: Editorial Panamericana; 2010. p. 247-64.
Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. Tablas de uso práctico del valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México. Segunda edición. 1992.

Cuadro 4. Fuentes de hierro hemínico

Contenido de hierro	Fuentes de hierro hemínico
Contenido alto (> 3 mg)	Vísceras: hígado (cerdo, res, pollo), pulmón, riñón
	Carne seca de res, armadillo, aco-ciles, moluscos (almeja, ostión, camarón seco)
Contenido medio (1.2 a 3 mg)	Lengua de res
	Pescado (mojarra)
	Molleja de pollo
	Iguana, conejo, venado
Contenido bajo (< 1.2 mg)	Ternera
	Pescado (atún, salmón)
	Pescado seco (charal, bacalao)
	Carne de res (filete, aguayón, falda, cecina); sesos

lial al momento del nacimiento. Por otra parte, el lactante de bajo peso tiene más velocidad de crecimiento durante los primeros meses de vida, de una mayor masa muscular y de volumen circulante en relación al peso corporal en menos tiempo. Debido a esto sus requerimientos aumentan¹⁵ (Cuadro 7).

Se estima que el requerimiento diario promedio de hierro absorbido es de 0.69 mg entre los siete

Cuadro 5. Comparación de la prevalencia de anemia por grupo de edad y sexo (ENSANUT 2012)

Grupo de edad	Hombres (%)	Mujeres (%)	Nacional (%)
Preescolares			
12-23 meses	39.5	37.1	38.3
24-35 meses	27.3	23.9	25.6
36-47 meses	17.2	17.2	17.2
48-59 meses	15.2	12.2	13.7
12-59 meses	24.4	22.1	23.3
Escolares			
5 años	18.9	17.8	18.3
6 años	14.2	12.3	13.2
7 años	11.4	10.9	11.2
8 años	8.9	9.5	9.2
9 años	6.6	9.6	8
10 años	4.3	6	5.2
11 años	6.2	5.1	5.7
5-11 años	10	10.1	10.1

y doce meses de edad; a partir del año disminuye a 0.63 mg de hierro absorbido hasta el año y medio de edad.¹⁶

A continuación se muestran combinaciones de alimentos para mejorar la absorción del hierro:

Cuadro 6. Comparación de la prevalencia de anemia por zona geográfica y grupo de edad (ENSANUT 2012)

Edad	Recomendación de hierro (mg)	
7-12 meses	16	
1-3 años	13	
4-8 años	15	
9-13 años	Hombres	20
	Mujeres	16
14-18 años	22	

Cuadro 7. Requerimientos de hierro en lactantes, niños y adolescentes⁶

Grupo de edad	Norte (%)	Centro (%)	Ciudad de México (%)	Sur (%)
Preescolares				
12-23 meses	35.2	41.4	40.6	36.1
24-35 meses	22.1	23.3	26.1	29.5
36-47 meses	15.8	16.7	20.6	16.8
48-59 meses	11.6	14.4	15.1	13.6
12-59 meses	20.8	23.4	25.2	23.7
Escolares				
5 años	20.2	14.6	22.6	18.1
6 años	12.6	13.2	11.3	14.8
7 años	15.4	9.4	10.5	10.8
8 años	11.3	8.2	5.5	11
9 años	7.3	8.5	8	8
10 años	6.8	3.6	1.2	7.8
11 años	4.7	4.2	7.3	6.5
5-11 años	11	8.7	9.6	10.9

- Huevo con carne de res (Fe hemínico), con frijoles (Fe hemínico) y nopales (Fe no hemínico) y 1 un vaso de jugo de naranja (ácido ascórbico).
- Mango picado (vitamina A) con yogurt y amaranto (Fe no hemínico).
- Ensalada de espinacas (Fe no hemínico) con jitomate (ácido ascórbico) y limón (ácido ascórbico).
- Sopa de lentejas (Fe no hemínico) con zanahoria picada (vitamina A) o tomate (ácido ascórbico).

- Carne de res/cerdo (hierro hemínico) con arroz (Fe no hemínico) en salsa de tomate (ácido ascórbico).
- Pescado (Fe hemínico) al limón (ácido ascórbico) con brócoli (ácido ascórbico), pimienta (ácido ascórbico) y tortilla (Fe no hemínico).
- Pollo (Fe hemínico) con verduras (Fe no hemínico) en salsa de chile (ácido ascórbico).
- Cereal adicionado con hierro (Fe no hemínico) con leche y fresas picadas (ácido ascórbico).

Hierro en la lactancia, alimentación complementaria y fórmulas lácteas

Inmediatamente después del nacimiento la presión de oxígeno en los tejidos aumenta y disminuye la eritropoyetina en el plasma, lo cual causa la suspensión de la eritropoyesis y de la síntesis de hemoglobina en las primeras 6 a 8 semanas de vida. La eritropoyesis se reanuda cuando los niveles de hemoglobina bajan hasta 12 g/dL. Al nacimiento, el organismo está preparado fisiológicamente con reservas de hierro suficientes para cubrir los requerimientos con la leche materna durante los primeros cuatro meses.¹⁷ Actualmente el proyecto de modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2005, Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria, recomienda incluir carne y sus derivados al iniciar la alimentación complementaria. La Organización Mundial de la Salud marca el inicio de alimentación complementaria a los 6 meses, de las 17 a 26 semanas según la Sociedad Europea para Gastroenterología Pediátrica y Nutrición (ESPGHAN) y entre los 4 y 6 meses según la AAP (Academia Americana de Pediatría) con el fin de satisfacer los requerimientos de hierro del lactante, ya que la lactancia materna ya no cubre los requerimientos de hierro y cinc, pues aún no hay absorción de

hierro de alimentos como vegetales, lácteos y leguminosas.¹⁸

El único alimento con hierro no hemínico que tiene un porcentaje de absorción de 50% es la leche materna, pues aunque contiene cantidades de hierro (0.2 a 0.4 mg/dL) similares a la leche de vaca, su contenido de inhibidores como calcio y fósforo es cuatro y seis veces menor, respectivamente; al igual que la relación suero/caseína de 60:40 en la leche materna y de 20:80 en la leche de vaca, lo que también afecta la absorción. Además, la cantidad de factores que promueven la absorción como lactoferrina, proteína con alta afinidad al hierro, lactosa y vitamina C, son mayores en la leche materna.¹³ A pesar de esto se ha visto que la fortificación de fórmulas lácteas con calcio y fósforo no parece afectar el nivel de hierro en niños.

La biodisponibilidad de la leche de vaca y de las fórmulas lácteas varía de 2 a 19% con un promedio de 10%; es decir, una quinta parte del porcentaje de absorción del hierro en la leche materna debido a las mayores cantidades de factores que la inhiben en la leche de vaca y de factores que la promueven en las fórmulas lácteas.¹⁹ Por esta misma razón, la biodisponibilidad del hierro en las fórmulas lácteas es a su vez mayor que en la leche de vaca.¹⁷

La alimentación con leche materna, la adición de hierro a los alimentos para lactantes incluyendo fórmulas o suplemento del mismo, y la prevención del consumo de leche de vaca en niños menores de un año, son elementos clave para la prevención de anemia por deficiencia de hierro según la Sociedad Europea para Gastroenterología Pediátrica y Nutrición.

La leche materna contiene de 0.2 a 0.4 mg de hierro por cada 100 mL. En el Cuadro 8 se enlistan las diferentes fórmulas lácteas disponibles en el mercado, así como la cantidad de miligramos

Cuadro 8. Hierro en formulas comerciales

Fórmulas lácteas	Cantidad de hierro en mg por cada 100 mL	% de absorción
Inicio	0.5-1.5	
Seguimiento	0.8-1.3	
Crecimiento	1.1-1.2	
Hidrolizados de proteínas del suero	0.7-1.4	
Hidrolizados de proteínas de caseína	1.4	10% (2-19%)
Elemental	1.2-1.4	
Prematuros	1.4-1.8	
Soya	0.7-1	

de hierro en los que éstas fluctúan de acuerdo con las características para las cuales fueron diseñadas.

Los niños alimentados exclusivamente con leche materna después de los 4 meses, sin suplemento de hierro, o los alimentados con fórmula láctea no adicionada con hierro después de los 6 meses, corren el riesgo de presentar anemia por deficiencia de hierro.¹⁹ De acuerdo con la Academia Americana de Pediatría se recomienda suplementar con hierro elemental (1 mg/kg de peso) a los lactantes nacidos a término a partir del sexto mes de vida, si son alimentados con fórmula láctea, y a partir del cuarto mes de vida si son alimentados al seno materno; sin embargo, esto es motivo de controversia ya que en nuestro país, dada la alta prevalencia de anemia por deficiencia de hierro en niños, se recomienda iniciar el suplemento tan rápidamente como sea posible (1 a 3 meses de edad) mientras que en lactantes prematuros se recomiendan 2 mg/kg de peso a partir del primer mes de vida.^{20,21} Cabe destacar que las fórmulas lácteas comerciales son adicionadas con hierro bajo ciertas normas (Cuadro 9).

La Sociedad Europea para Gastroenterología Pediátrica y Nutrición estableció un límite mí-

Cuadro 9. Adición de hierro recomendada en fórmulas lácteas

Autoridad	Mínimo (mg/100 mL)	Máximo (mg/100 mL)
Sociedad Europea para Gastroenterología Pediátrica y Nutrición	0.7	-
Codex Alimentarius Commission	1 mg/100 kcal	-
European Commission	0.3	1.1
Life Science Research Office	0.13	1.1
American Academy Of Pediatrics	0.4	1.2

Modificado de: Comisión Europea, Comité Científico de Alimentación, 2003.

nimo para la adición de hierro de 0.7 mg por cada 100 mL de fórmula láctea (CAC, 2002). La Comisión del Codex Alimentario estandarizó un límite de adición de 1 mg de hierro por cada 100 kcal de fórmula. La Comisión Europea sugiere de 0.3 a 0.13 mg de contenido de hierro por cada 100 mL de fórmula (EEC, 2003); es ligeramente más amplia la recomendación de la *Life Science Research Office*: 0.13 a 1.1 mg/100 mL de fórmula (Life Science Research Office Report, 1998). La Academia Americana de Pediatría, por su parte, recomendó mayor adición: 0.4 a 1.2 mg/100 mL (AAP, 1999).

Efectos negativos del exceso de hierro

Así como la deficiencia de hierro puede tener consecuencias adversas su ingesta excesiva también puede generar alteraciones. Se ha visto que la fortificación de fórmulas con alto contenido de hierro puede reducir la absorción de cobre y cinc. Por otra parte, el suplemento de hierro durante la lactancia materna exclusiva puede disminuir las propiedades antiinfecciosas de la leche materna; la administración de hierro por vía intravenosa se ha asociado con malaria, sepsis neonatal y gastroenteritis. Además, el hierro en exceso, por sus efectos prooxidativos, se ha

señalado como un factor de riesgo potencial de cáncer y de enfermedades cardiovasculares. Por último, un desorden genético común es la hemocromatosis hereditaria en la que existe acumulación de hierro extrahepático sin compromiso del tejido endotelial, y el suplemento con hierro o fortificación de fórmulas agrava la sobrecarga.²¹

REFERENCIAS

- Olivares Grohnert M, Arredondo Olguin M, Pizarro Aguirre F. Hierro. En: Gil Hernández A. Tratado de nutrición: bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. 2ª edición, México: Editorial Médica Panamericana; 2010. pp. 670-86.
- Forrellat Barrios M, Gautier du Défaix Gómez H, Fernández Delgado N. Metabolismo del hierro. Rev Cubana Hemato Inmuno Hemoter 2000;16(3):149-60.
- Pérez G, Vittori D, Pregi N, Garbossa G, Nesse A. Homeostasis del hierro. Mecanismos de absorción, captación celular y regulación. Acta Bioquím clín latinoam 2005;39(3):301-14.
- Zuleta A, Binaghi J, Greco C, Aguirre C, De la Casa L, Tadini C, Ferrer P. Diseño de panes funcionales a base de harinas no tradicionales. Rev Chil Nutr 2012;39(3):58-64.
- Cagnasso CE, López LB, Binaghi MJ, Pellegrino NR, Valencia ME. Dializabilidad de hierro y zinc en cereales para desayunos comerciales fortificados con hierro elemental, sulfatoferroso o EDTA ferricosódico. Rev Chil Nutr 2010;37(2):138-44.
- Rivera Dommarco J, Hotz C, Rodríguez Ramírez S, García Guerra A, Pérez Expósito AB, Martínez H, et al. Hierro. En: Bourges H, Casanueva E, Rosado J. Recomendaciones de ingestión de nutrimentos para la población mexicana. México: Editorial Panamericana; 2010. pp. 247-64.
- Ganz T. Hcpidin, a key regulator of iron metabolism and mediator of anemia of inflammation. Epub. 2003;102(3):783-8.
- Tussing Humphreys L, Pustacioglu C, Nemeth E, Braunschweig C. Rethinking Iron Regulation and Assessment in Iron Deficiency, Anemia of Chronic Disease, and Obesity: Introducing Hcpidin. J Acad Nutr Diet 2003;112(3):391-400.
- Vargas J. Fuentes y liberación del hierro. En: Canaval H, Pérez H, Rincón D, Vargas J, (eds.). Farmacología del hierro. Colombia: Farmaproyectos Ltda; 2007. p. 7-21.
- Gaitán D, Olivares M, Arredondo O, Pizarro F. Biodisponibilidad de hierro en humanos. Rev Chil Nutr 2006;33(2):142-8.
- Theil EC. Iron Homeostasis and nutritional iron deficiency. J Nutr 2011;141(4):724S-8S.
- Uzel C, Conrad ME. Absorption of heme iron. Semin Hematol 1998;35:27-34.

13. González Urrutia R. Biodisponibilidad del hierro. *Rev Costarric Salud Pública*. 2005;14(26):6-12.
14. De Paz R, Hernández-Navarro F. Manejo, prevención y control del síndrome anémico secundario a deficiencia férrica. *Nutr Hosp* 2005;20(5):364-7.
15. Binaghi J, López L, Valencia M. Evaluación de la influencia de distintos componentes de la dieta sobre la biodisponibilidad potencial de minerales en alimentos complementarios. *Rev Chil Nutr* 2007;34(1):56-60.
16. Fujita H, Nishitani C, Nakajima M. Molecular biology of iron in nutritional science. *Nihon Eiseigaku Zasshi* 2003;58(2):248-53.
17. Díaz-Argüelles VM. La alimentación inadecuada del lactante sano y sus consecuencias. *Rev Cubana Pediatr* 2005;77(1). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75312005000100007&lng=es.
18. PROYECTO de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2005, Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación; para quedar como Proyecto de Norma Oficial Mexicana, PROY-NOM-043-SSA2-2011, Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación.
19. Rios E, Vega V, Chadud P, Romero G. Prevención de deficiencia de hierro en lactantes de bajo peso de nacimiento: comparación de dos métodos de administrar hierro. *Rev Chil Pediatr* 1999;70(5):384-9.
20. Reporte del Comité Científico de Alimentación en la revisión de los requerimientos esenciales de las fórmulas infantiles y de seguimiento. Bélgica: Comisión Europea 2003:127-36.
21. Sociedad Uruguaya de Pediatría, 2003; Comisión Europea, Comité Científico de Alimentación, 2003.