

LA ABSORCIÓN DEL HIERRO DE LOS ALIMENTOS ¹

Dr. Miguel Layrisse ²

Se comparan los grados de absorbilidad del hierro de distintos alimentos, independientemente de las variaciones que puedan observarse según las reservas del mismo. En el estudio realizado se notó que ciertos alimentos, mezclados, producen niveles mayores de absorbilidad que si se consumen por separado. Se trata en él dos aspectos del metabolismo del hierro que son de importancia en salud pública: la absorbilidad del hierro de la dieta y la absorbilidad del hierro que la complementa.

Los conocimientos relativos a la absorción del hierro se basan, en su mayor parte, en los estudios realizados con hierro radiactivo en forma de sal de hierro. En 1951, Moore y Dubach (19) investigaron por primera vez la absorción del hierro de alimentos a los que se ha incorporado hierro radiactivo biológicamente. Sin embargo, pese a que el tema era importante para la nutrición, no se prosiguió activamente su estudio. Han dificultado su continuación la gran cantidad de hierro radiactivo necesario para efectuar la marca biológicamente y la tediosa tarea de cultivar las plantas necesarias. Solamente la absorción del hierro de la hemoglobina ha sido estudiada en forma detallada (2, 3, 6, 7, 9, 23).

En los primeros estudios (3, 5, 17, 18, 19) se demostró que, en general, el hierro de los alimentos de origen animal se absorbe mejor que el de los alimentos de origen vegetal y que los porcentajes de absorción varían considerablemente según el tipo de alimento y el sujeto en cuestión.

En personas normales, la absorción media del hierro de alimentos de origen animal varía del 2 al 6% en los huevos, el 11% en los músculos de pollo y del 9 al 13% en la hemoglobina. La absorción del hierro de los alimentos vegetales (espinaca, hojas de mostaza, acelga, hojas de remolacha) es en general inferior a la de los alimentos de origen animal, pero solo se determinó en un número escaso de individuos.

En 1964, el Departamento de Medicina y Botánica de la Universidad de Washington y el Departamento de Fisiopatología del IVIC de Caracas, iniciaron un programa con el fin de estudiar la absorción del hierro en los alimentos básicos de las zonas tropicales y templadas. En el presente trabajo se ofrecerá un resumen de los resultados obtenidos en los últimos cinco años, en los cuales se estudiaron a más de 500 personas. Algunos de los hallazgos se publicaron recientemente (8, 10, 12, 14, 15) y los restantes, todavía en proceso de análisis, se presentan aquí como información preliminar.

En todo estudio sobre la absorción del hierro de los alimentos debe tenerse en cuenta que, además de las variaciones que se observan en los diferentes sujetos, atribuibles al grado de almacenamiento de hierro, se produce una variación diaria dentro del individuo que puede llegar al 100% en

¹ Trabajo presentado en el Simposio sobre el Metabolismo del Hierro y las Anemias, celebrado en Washington, D.C., el 14 de mayo de 1969, como parte de la Octava Reunión del Comité Asesor de la OPS sobre Investigaciones Médicas, y ha aparecido con el título original "Iron absorption from food" en *Iron Metabolism and Anemia*, Publicación Científica de la OPS 184, págs. 38-42, 1969.

Los estudios realizados en Venezuela para este trabajo fueron financiados en parte con la subvención RO1-HE06507 del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos.

² Departamento de Fisiopatología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela.

determinados momentos. Algunos autores constataron una reducción en la variación dentro del sujeto al administrársele dosis múltiples durante un período de 10 días (1), en tanto que otros comprobaron una variación similar independientemente de si la dosis administrada era sencilla o múltiple (13). Los errores metodológicos desempeñan un papel secundario en la variación; se calcula que son más o menos del 2 por ciento.³ Ello se demostró determinando la absorción del hierro en sujetos alimentados con hierro inorgánico marcado con Fe^{55} y Fe^{59} , o maíz de cultivo al que se agregó Fe^{55} al nutriente y se inyectó Fe^{59} en el tallo. Es importante señalar también que la distribución asimétrica observada en la absorción de una sal de hierro (8), que se torna normal al utilizarse el logaritmo del porcentaje de absorción, se presenta también en la absorción del hierro de los alimentos. Esto se demostró claramente en estudios realizados con alimentos tales como frijoles negros y carne de ternera con los que se experimentó en un gran número de personas. En consecuencia, el promedio de absorción media y la desviación estándar de la absorción de cada alimento indicada en el presente estudio se basa en los logaritmos del porcentaje de absorción.

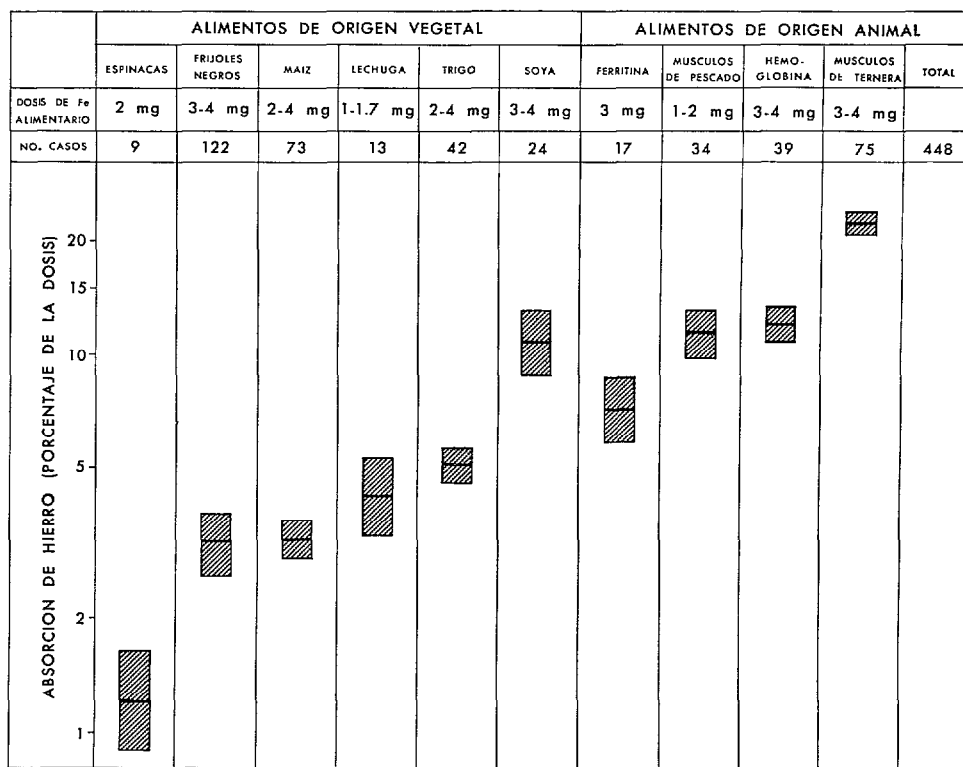
En la figura 1 se presentan los resultados obtenidos en 448 pruebas con seis clases de alimentos de origen vegetal y cuatro de origen animal. Se incluyen los datos ya publicados sobre las pruebas de absorción (10, 14, 15) y nueva información obtenida en los últimos dos años. En general no se absorbe bien el hierro de los alimentos de origen vegetal (la soya fue la única excepción). La absorción media, incluyendo sujetos normales y con deficiencias de hierro, varía del 1% en la espinaca al 5% en el trigo, con valores intermedios de un 3% en los frijoles negros y la lechuga. La absorción del hierro de los alimentos de

origen animal osciló entre 7% en la ferritina y 22% en la carne de ternera, con valores intermedios del 11% en el pescado y 12% en la hemoglobina. La absorción media del hierro de la soya fue del 11%, cifra que se aproxima a los valores intermedios observados en los alimentos de origen animal. La absorción media de cada alimento, excepto en el caso de la carne de ternera, fue inferior a la que figura en publicaciones recientes (14). Estas cifras más bajas pueden atribuirse en parte al tratamiento matemático de los datos.

Al compararse la absorción del hierro de cada alimento, según los tres parámetros utilizados en el cálculo del almacenamiento de hierro en el organismo, se demostró que no hay una gran correlación entre la absorción del hierro de los alimentos y la concentración de hierro en el suero, o el porcentaje de saturación de la transferrina. No obstante, se observó una correlación importante entre la absorción del hierro alimentario y el orgánico. De esta manera, en lugar de utilizarse solamente la absorción del hierro alimentario, fue posible usar un coeficiente de la absorción del hierro alimentario y del hierro orgánico. De este modo se pudieron comparar las diferencias en la absorción de los diversos alimentos independientemente de las variaciones de las reservas de hierro de cada individuo. El coeficiente medio fue inferior a 0.20 en los frijoles negros, la espinaca y el maíz; de 0.20 a 0.29 en el trigo y la lechuga; de 0.30 a 0.39 en la soya y la hemoglobina; 0.52 en el pescado y 0.97 en la carne de ternera. A base de estos resultados es posible predecir la absorción del hierro de estos alimentos en un sujeto cuya absorción de hierro inorgánico se conoce. Por ejemplo, un individuo normal de sexo masculino con una absorción del 7% absorbería menos del 1% del maíz, la espinaca o frijoles negros; entre el 1 y el 2% de la lechuga o el trigo; entre el 2 y el 5% del pescado, soya o la hemoglobina,

³ J. D. Cook, M. Layrisse y C. A. Finch. Observación inédita.

FIGURA 1—Resultados del estudio sobre la absorción del hierro de los alimentos, realizado en colaboración con el Departamento de Botánica y Medicina de la Universidad de Washington, Seattle, y la Sección de Fisiopatología del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela. La absorción media y el error típico se calculan a base de los logaritmos del porcentaje de absorción.



y un 8% de músculos de carne de ternera. En sujetos con anemia ferropénica y reducción de las reservas de hierro, la absorción de hierro inorgánico será del 50% y más en la mayoría de los casos y, en proporción, el nivel de absorción del hierro de los alimentos será, como mínimo, dos o tres veces mayor.

En estudios anteriores (10, 12) se demostró que la absorción del hierro de los alimentos (trigo, maíz y ferritina) aumenta con el ácido ascórbico y disminuye notablemente con la desferrioxamina. Entre los alimentos estudiados hasta ahora, solamente dos no siguen esta modalidad: la hemoglobina (23), en la absorción de la cual no influyen agentes reductores o quelatantes; y la soya, cuya absorción no aumenta con el ácido ascórbico (12). Debido

a la gran variedad de los niveles de absorción del hierro en diferentes sujetos, que es aún mayor que la variación diaria dentro del sujeto, se determinó la absorción del hierro de cada individuo al ingerir un alimento solo y luego combinado con ácido ascórbico y desferrioxamina. Los resultados obtenidos revelaron que estos agentes no afectan la absorción del hierro de músculos de la carne de ternera, mientras que la absorción del hierro de músculos de pescado disminuye notablemente con la desferrioxamina y aumenta con el ácido ascórbico. Estos resultados preliminares pueden indicar que durante la absorción, el hierro de la mioglobina sigue adherido al anillo de la porfirina, como ya se demostró en el caso del hierro de la hemoglobina, y que el hierro del pescado sigue un curso distinto.

También se estudió la posible interacción de los diferentes alimentos ingeridos en una misma comida, como en la alimentación habitual. En experimentos con alimentos de origen animal y vegetal que se ingirieron mezclados en una misma comida (15), se comprobó que la absorción del hierro de la carne de ternera es mucho menor cuando dicha carne se ingiere acompañada ya sea de frijoles negros o de maíz que cuando se ingiere sola. En cambio, en el caso del maíz y los frijoles negros se obtienen niveles superiores de absorción cuando se ingieren con carne de ternera o pescado que cuando se ingieren solos.

En otros estudios se procuró comprobar si la mayor absorción del hierro de los vegetales se debía a la presencia de aminoácidos en los músculos de la carne de pescado tal como ocurre con algunos aminoácidos que influyen en la absorción del hierro inorgánico (11). En el primer experimento se mezclaron frijoles negros con aminoácidos en proporción y cantidad iguales a las que se encuentran en 100 g de carne de pescado. El nivel de absorción obtenido fue más del doble del registrado en el experimento en que se utilizaron solamente frijoles negros. Otros experimentos revelaron que los aminoácidos que contienen azufre—cisteína más metionina o cisteína sola—favorecen la absorción del hierro de los vegetales. Sin embargo, no se observó un notable aumento en la absorción con los demás aminoácidos agrupados según sus propiedades químicas (16).

En el material impreso no se encuentran más informaciones acerca del efecto de la interacción de los alimentos ingeridos en una misma comida sobre la absorción del hierro, pero se han efectuado estudios para determinar el efecto de un alimento solo o de comidas corrientes en la absorción de hierro inorgánico marcado. En la mayoría de estos estudios se ha tratado de determinar el beneficio que podría obtenerse si se proporcionara a una población ali-

mentos básicos enriquecidos con hierro inorgánico. En ellos se ha demostrado que en un alimento solo, como puede ser el trigo (4, 22), o en una comida corriente (20, 21) el nivel de absorción de hierro inorgánico es mucho menor que el del hierro ingerido solo. La absorción aumenta cuando se administra ácido ascórbico junto con la comida (4, 20). En este sentido, los dos grupos de la Universidad de Washington y el IVIC constataron que la absorción del hierro inorgánico disminuye notablemente cuando se ingiere combinado con soya o maíz, pero no presenta variación cuando se ingiere con músculos de carne de ternera.

La información consignada en este trabajo se refiere a los dos aspectos del metabolismo del hierro que son muy importantes para la salud pública, a saber: la absorbibilidad del hierro de la dieta y la absorbibilidad del hierro que la complementa. En los estudios sobre la absorción del hierro de los alimentos se demostró cuan deficientes son, en realidad, algunos de los alimentos básicos nacionales. Tal es el caso del maíz, por ejemplo, que es parte importante de la alimentación en la América Central. Los hallazgos demuestran también que los alimentos de origen animal son importantes no sólo por su alto porcentaje de absorbibilidad del hierro, sino también por su efecto en la absorción del hierro de origen vegetal. La gran diferencia observada entre los alimentos de origen animal y los de origen vegetal tal vez explique por qué la prevalencia de la anemia ferropénica (sin pérdida de sangre) es menos frecuente en las zonas templadas que en las tropicales: aunque en estas últimas es mayor la ingesta de hierro, este es principalmente de origen vegetal.

En los estudios sobre la absorción del hierro inorgánico administrado con un alimento solo o en la comida, se comprobaron variaciones según el alimento que lo acompañaba. Por consiguiente, se podría formular la conclusión de que los progra-

mas de fortificación de alimentos con hierro deben evaluarse primero con métodos isotópicos en un estudio piloto en el que se utilice una muestra de los habitantes que estén expuestos a las mismas condiciones ambientales.

Resumen

Los estudios sobre la absorción del hierro de los alimentos, cuando este se incorpora biológicamente, han demostrado que la absorción varía considerablemente según el tipo de alimento y el sujeto estudiado; varía incluso dentro del mismo individuo en días consecutivos. El hierro de los alimentos de origen vegetal, especialmente de espinaca, maíz y frijoles negros no es muy bien absorbido, registrándose una media de menos de 2% en sujetos normales. La única excepción es el hierro de soya, cuyo promedio de absorción (11%) es comparable a la escala para alimentos de origen animal. La tasa de absorción del hierro de cada alimento se correlacionó en alto grado con la absorción de hierro inorgánico y no con el hierro del plasma o el porcentaje de saturación de transferrina. El coeficiente de absorción de hierro en comparación con la absorción de hierro inorgánico fue in-

ferior a 0.20 en el caso del maíz, frijoles negros y espinaca; de 0.20 a 0.29 en el trigo y la lechuga; de 0.30 a 0.39 en la soya y la hemoglobina, 0.52 en el pescado, y 0.97 en la carne de ternera.

La administración, en una comida, de alimentos de origen animal y vegetal marcados con diferentes isótopos demostró que la absorción del hierro del alimento de origen animal disminuye sólo ligeramente o no disminuye en absoluto. Por otra parte, el hierro del maíz o de los frijoles negros fue absorbido dos o tres veces más cuando se mezclaba con alimentos de origen animal que cuando se administraba solo. En estudios ulteriores se ha demostrado que los aminoácidos, especialmente los que contienen azufre, aumentan la absorción del hierro de los vegetales de manera similar a la observada en los alimentos de origen animal.

Es posible que estas observaciones preliminares contribuyan a explicar por qué la prevalencia de la anemia ferropénica sin pérdida de sangre es menos frecuente en las zonas templadas que en las zonas tropicales, ya que, aun cuando la ingestión de hierro en estas es mayor, más del 80% del hierro en la dieta es de origen vegetal. □

REFERENCIAS

- (1) Brise H. y Hallberg L. "Iron absorption studies. II. A method for comparative studies on iron absorption in man using two radioiron isotopes." *Acta Med Scand Suppl* 376 (171): 7-22, 1962.
- (2) Brown, E. B., Hwang, Y. F., Nicol, S. y Ternberg J. "Absorption of radioiron-labeled hemoglobin by dogs." *J Lab Clin Med* 72: 58-64, 1968.
- (3) Callender, S. T., Mallett, B. J. y Smith, M. D. "Absorption of hemoglobin iron". *Brit J Haemat* 3: 186-192, 1957.
- (4) Callender, S. T. y Warner, G. T. "Iron absorption from bread". *Amer J Clin Nutr* 21: 1170-1174, 1968.
- (5) Chodos, R. B., Ross, J. F., Apt, L., Pollycove, M. y Halkett, J. A. E. "The absorption of radioiron-labeled foods and iron salts in normal and iron deficient subjects and in idiopathic hemochromatosis". *J Clin Invest* 36: 314-326, 1957.
- (6) Conrad, M. E., Benjamin, B. I., Williams, H. L. y Foy, A. L. "Human absorption of hemoglobin iron". *Gastroenterology* 53: 5-10, 1967.
- (7) Conrad, M. E., Weintraub, E. R., Sears, D. A. y Crosby, W. H. "Absorption of hemoglobin iron". *Amer J Physiol* 221: 1123-1130, 1966.
- (8) Cook, J. D., Layrisse, M. y Finch, C. A. "The measurement of iron absorption". *Blood* 33: 421-429, 1969.
- (9) Hallberg, L. y Solvell, L. "Absorption of hemoglobin iron in man". *Proceedings, X Congress of the International Society of Hematology* (Stockholm) F. 5.
- (10) Hussain, R., Walker, R. B., Layrisse, M., Clark, P. y Finch, C. A. "Nutritive

- values of food iron". *Amer J Clin Nutr* 16: 464-471, 1965.
- (11) Kroe, D., Kinney, T. D., Kaufman, N. y Klavens, J. V. "The influence of amino acids on iron absorption". *Blood* 21: 546-552, 1963.
- (12) Kuhn, I. N., Layrisse, M., Roche, M., Martínez, C. y Walker, R. B. "Observations on the mechanism of iron absorption". *Amer J Clin Nutr* 21: 1184-1188, 1968.
- (13) Kuhn, I. N., Monsen, E. R., Cook, J. D. y Finch, C. A. "Iron absorption in man". *J Lab Clin Med* 71: 715-721, 1968.
- (14) Layrisse, M., Cook, J. D., Martínez, C., Roche, M., Kuhn, I. N. y Finch, C. A. "Food iron absorption; a comparison of vegetable and animal foods". *Blood* 33: 430-443, 1969.
- (15) Layrisse, M., Martínez-Torres, C. y Roche, M. "The effect of interaction of various foods on iron absorption". *Amer J Clin Nutr* 21: 1175-1183, 1968.
- (16) Martínez-Torres, C. y Roche, M. "Effect of amino acids on iron absorption from black beans". En preparación.
- (17) Moore, C. V. "Iron nutrition". En *Iron Metabolism; an International Symposium*. (Compilado por F. Gross). Berlin: Springer-Verlag, 241-265, 1964.
- (18) Moore, C. V. "Iron nutrition and requirements". En "Iron Metabolism", *Series Haematologica* vol. 6, suplemento del *Scand J Haemat* págs. 1-14, 1965.

Iron Absorption from Food (Summary)

Studies on iron absorption from food when iron is incorporated biologically have shown that it varies considerably according to the type of food and individual tested; it even varies within the same individual in consecutive days. Iron from vegetable food, especially from spinach, corn, and black beans, is poorly absorbed, with a mean of less than 2 per cent in normal subjects. The only exception is soybean iron, the average absorption of which (11%) is comparable to the range observed for foods of animal origin. The rate of iron absorption from each individual food correlated significantly with inorganic iron absorption, and not with either plasma iron or percentage of transferrin saturation. The ratio of iron absorption versus inorganic iron absorption was less than 0.20 in the case of corn, black beans, and spinach; from 0.20 to 0.29 with wheat and lettuce; from 0.30 to 0.39 with soybean and hemoglobin; 0.52 with fish, and 0.97 with veal.

The administration in one meal of animal and vegetable food tagged with different isotopes showed that iron absorption from animal food is only slightly decreased or not decreased at all. On the other hand, corn or black bean iron was absorbed twice or three times better when mixed with animal food than when administered alone. Further studies have shown that amino acids, especially those containing sulfur, enhance vegetable iron absorption in a manner similar to that observed with animal food.

These preliminary observations may help to explain why the prevalence of iron deficiency anemia in the absence of blood loss is less frequent in temperate zones than in tropical areas, since, even though iron intake in the latter is higher, more than 80 per cent of the dietary iron comes from vegetable sources.

A Absorção do Ferro Contido nos Alimentos (Resumo)

Estudos sobre a absorção do ferro contido em alimentos quando o ferro é incorporado biologicamente mostraram que a mesma varia consideravelmente, de acordo com o tipo de alimento e o indivíduo examinado; varia inclusive no mesmo indivíduo, de um dia para outro. A absorção do ferro contido em alimentos vegetais, sobretudo espinafre, milho e feijão preto, é difícil e atinge, em média, nos indivíduos normais, menos de 2 por cento. A

única exceção é o ferro do feijão-soja, cuja média de absorção (11%) é comparável à que se observa nos alimentos de origem animal. A taxa de absorção de ferro de cada alimento correlaciona-se significativamente com a absorção do ferro inorgânico e não com o ferro do plasma ou a percentagem de saturação da transferrina. A razão da absorção de ferro para com a absorção do ferro inorgânico foi de menos de 0.20 no caso do milho, de feijão

prêto e do espinafre; de 0.20 a 0.29 com o trigo e a alfaca; de 0.30 a 0.39 com o feijão-soja e a hemoglobina; 0.52 com o pescado, e 0.97 com a vitela.

A administração de uma refeição constituída de alimentos animais e vegetais marcados com diferentes isótopos mostrou que a absorção do ferro do alimento animal sofre decréscimo ligeiro ou nenhum. Por outro lado, o ferro do milho ou do feijão prêto foi absorvido duas ou três vêzes melhor quando misturado com alimentos animais do que quando administrado separadamente. Novos estudos demonstraram

que os aminoácidos, especialmente os que contêm enxôfre, estimulam a absorção do ferro presente nos vegetais de maneira semelhante à que se observa com os alimentos animais.

Estas observações preliminares podem contribuir para explicar porque a prevalência da anemia por deficiência de ferro na ausência de perda de sangue é menos freqüente nos climas temperados que nos tropicais, uma vez que, embora a ingestão de ferro nas regiões tropicais seja maior, mais de 80% da dieta rica em ferro vem de fontes vegetais.

Absorption du fer fourni par les aliments (Résumé)

Les études sur l'absorption du fer fourni par la ration alimentaire, lorsque le fer y est incorporé biologiquement, ont révélé que cette absorption varie considérablement selon le genre d'aliment et d'individu examiné; elle varie même chez le même individu d'un jour à l'autre. Le fer provenant de légumineuses, en particulier d'épinards, de maïs et de fèves, n'est absorbé qu'imparfaitement, avec une moyenne de moins de 2 pour cent chez les sujets normaux. La seule exception est le fer de la fève de soya dont la moyenne de absorption (11 pour cent) est comparable aux taux enregistrés pour les aliments d'origine animale. Le taux d'absorption du fer provenant des différents aliments correspondent de façon marquée à l'absorption de fer organique et non de fer plasmaticque ou au pourcentage de saturation en transferrine. La proportion d'absorption de fer inorganique fourni par chaque aliment particulier par rapport à l'absorption de fer inorganique était inférieure à 0.20 dans le cas du maïs, des fèves et des épinards; entre 0.20 et 0.29 pour le blé et la laitue; entre 0.30 et 0.39

pour les fèves de soya et l'hémoglobine; 0.52 pour le poisson, et 0.97 pour le veau.

L'administration en un seul repas de nourriture animale et végétale marquée par différents isotopes a indiqué que l'absorption de fer fourni par des aliments d'origine animale est décrue légèrement ou pas du tout. D'autre part, le fer du maïs ou des fèves a été absorbé deux ou trois fois mieux lorsqu'ils étaient mélangées avec des aliments d'origine animale que lorsqu'ils étaient administrés seuls. D'autres études ont montré que les acides aminés, notamment ceux qui contiennent du soufre, stimulent l'absorption de fer végétal de façon analogue à celle que l'on constate avec les aliments d'origine animale.

Ces observations préliminaires aideront peut-être à expliquer la raison pour laquelle l'anémie ferriprive, en l'absence de perte de sang, est moins fréquente dans les zones tempérées que dans les zones tropicales, étant donné que, malgré le fait que l'apport de fer dans ces dernières est plus élevé, plus de 80 pour cent du fer diététique provient de sources végétales.