

07. METALES EN EL CUERPO: LA QUÍMICA OCULTA QUE TE MANTIENE VIVO

Diego Ivan Aguilar Vazquez
Maestro en Ciencias en Química
Estudiante del Doctorado en
ciencias en Química - Universidad
de Guadalajara - CUCEI
diego.avazquez@alumnos.udg.mx
ORCID: 0009-0007-0328-9398

Irma Idalia Rangel Salas
Doctora en Ciencias con orientación
en Química Inorgánica
Universidad de Guadalajara – CUCEI –
Departamento de Química
idalia.rangel@academicos.udg.mx
ORCID: 0000-0001-7153-4091

Ana María Puebla Pérez*
Doctora en Inmunología
Universidad de Guadalajara –
CUCEI – Departamento de
Farmacología
ana.puebla@academicos.udg.mx
ORCID: 0000-0001-5133-1975



RESUMEN

¿Sabías que los metales no solo se encuentran en cables, monedas u otras estructuras?, también están dentro de ti y son considerados esenciales para la vida misma. En el interior de cada célula, elementos como el hierro, el cobre, el zinc o el manganeso desempeñan funciones vitales que permiten que procesos fisiológicos se lleven a cabo, tales como: respirar, obtener energía e incluso defendernos de infecciones. Los metales se caracterizan por su capacidad para formar diversos tipos compuestos conocidos como complejos de coordinación y su capacidad de variar su carga ha sido aprovechada por la naturaleza de una manera muy ingeniosa.

Desde la hemoglobina que transporta oxígeno hasta las enzimas que eliminan radicales libres, los metales de transición actúan como los engranajes invisibles de la maquinaria bioquímica. Comprender su papel no solo nos ayuda a entender mejor cómo funciona la vida, sino también a desarrollar nuevos fármacos, materiales y tecnologías que permiten mejorar la calidad de vida de las personas.

Cuando pensamos en metales, nos vienen a la mente imágenes de estructuras robustas, cables brillantes o valiosas joyas. Son materiales que asociamos con la fuerza y la conducción, capaces de formar iones positivos que explican su capacidad de transmitir electricidad y calor.(1)

Pero hay un grupo de estos metales, los metales de transición (Figura 1), que esconden un secreto fascinante. Ubicados en el corazón de la tabla periódica, elementos como el hierro, el cobre y el zinc no solo son útiles para construir nuestro mundo, sino que son piezas fundamentales para la vida misma.(2)

Gracias a su asombrosa versatilidad —pueden cambiar de estado, formar compuestos de colores vibrantes y participar en reacciones complejas—, estos metales se han convertido en aliados indispensables de la naturaleza. Son los responsables de procesos esenciales como transportar oxígeno, generar energía, proteger nuestras células e incluso leer la información de nuestro ADN. (2)

En este trabajo exploraremos cómo estos metales invisibles, presentes en cantidades mínimas, pero con roles gigantescos, sostienen los procesos que nos mantienen con vida.

Grupo →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Periodo ↓																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lantánidos			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
Actínidos			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

Figura 1.





¿EL HIERRO: MÁS QUE SOLO UN INDICADOR DE ANEMIAS

Quizá alguna vez hayas escuchado las palabras hierro y anemia por parte del médico cuando alguien se siente débil. Si bien este es un indicador muy útil para los doctores, el hierro también destaca como uno de los metales más importantes, ya que interviene en procesos vitales como la respiración y el transporte de oxígeno.

Imagina un servicio de reparto ultrarrápido que recoge un cargamento vital en una estación y lo distribuye con precisión por todo el cuerpo. Eso es exactamente lo que hace la hemoglobina, una proteína extraordinaria que se encuentra en nuestros glóbulos rojos y que tiene una misión crítica: transportar el oxígeno que necesitamos para vivir.

En el corazón de cada molécula de hemoglobina hay cuatro grupos "hemo", y cada uno de ellos contiene un átomo de hierro (Figura 2). Este hierro actúa como un imán especializado que puede atrapar moléculas de oxígeno en los pulmones y luego liberarlas exactamente donde el cuerpo las necesita: en los músculos, el cerebro o cualquier otro tejido.⁽³⁾ Lo más asombroso es que estos cuatro "camiones de oxígeno" trabajan en equipo: cuando el primero recoge oxígeno, los siguientes lo hacen con más facilidad, ¡como si se dieran aviso unos a otros!

El viaje de la hemoglobina es un circuito continuo y perfectamente coordinado:

- 1.Carga en los pulmones: En los alvéolos pulmonares, donde el aire es rico en oxígeno, el hierro de la hemoglobina se "engancha" firmemente a las moléculas de O_2 .
- 2.Viaje por el torrente sanguíneo: Los glóbulos rojos navegan por la sangre, llevando su preciada carga.
- 3.Entrega en los tejidos: Al llegar a tejidos que están trabajando (como un músculo al ejercitarse), el entorno se vuelve más ácido y con más dióxido de carbono. Estos cambios le indican a la hemoglobina que es hora de soltar el oxígeno.
- 4.Recogida de residuos: De vuelta, la hemoglobina no viaja vacía. Ayuda a recoger parte del dióxido de carbono (el "humor" de la célula) para devolverlo a los pulmones y exhalarlo.

El secreto de este sistema perfecto reside en la química del hierro. Este metal de transición es ideal para la tarea porque puede unirse al oxígeno de forma reversible y estable, sin oxidarse de manera permanente. Es el componente activo que hace posible el milagro del transporte de oxígeno.⁽³⁾

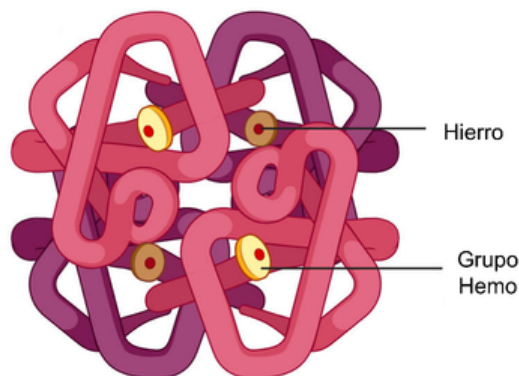


Figura 2.





EL COBRE: UN PEQUEÑO GIGANTE EN NUESTRO CUERPO

Además del hierro, existe otro metal esencial para la vida que actúa tras bambalinas: el cobre. Aunque está presente en nuestro cuerpo en cantidades muy pequeñas, su papel es tan crucial como el de un director de orquesta en una sinfonía. Imagina que los electrones son "paquetes de energía" con carga negativa que necesitan viajar de un lugar a otro.

Uno de los ejemplos más fascinantes del cobre en acción ocurre en las mitocondrias, que son como las centrales eléctricas de nuestras células. Allí, una enzima llamada Citocromo C Oxidasa — que contiene tanto cobre como hierro— actúa en la etapa final de la respiración. Su misión es transformar el oxígeno que respiramos en agua.(4) Para lograrlo, el cobre funciona como un interruptor molecular: recibe y cede electrones de manera controlada, evitando que se libere energía de forma explosiva. Gracias a este proceso, nuestras células producen ATP, la "moneda energética" que usamos para realizar todas nuestras actividades.(4)

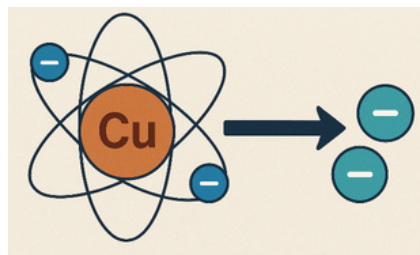


Figura 3.

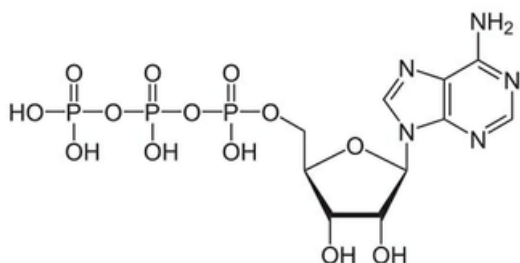


Figura 4.

El cobre también es clave en nuestro sistema de defensa. La enzima superóxido dismutasa, por ejemplo, actúa como un guardaespaldas celular. Su trabajo es neutralizar a los radicales libres, moléculas inestables y peligrosas que pueden dañar nuestras células. El cobre, con su capacidad única para manejar cargas eléctricas, logra "domar" estas moléculas agresivas y convertirlas en sustancias menos dañinas, protegiéndonos así del envejecimiento y diversas enfermedades.(4)

EL ZINC: EL ARQUITECTO INVISIBLE DE LA VIDA

Si el hierro y el cobre son los mensajeros y electricistas de nuestra célula, el zinc es su arquitecto y supervisor de obras. Aunque no brilla como otros metales en reacciones de intercambio de energía, su verdadero poder reside en la estabilidad y el soporte estructural que proporciona.





TRASLACIÓN: MOVIENDO CIENCIA

El zinc actúa principalmente como un cofactor esencial, es decir, como un "asistente molecular" sin el cual muchas enzimas no podrían trabajar. Un ejemplo extraordinario es la anhidrasa carbónica,(1) una de las enzimas más rápidas que existen. Imagina que necesitamos transformar rápidamente el dióxido de carbono que producen nuestras células en una sustancia que la sangre pueda transportar fácilmente. El zinc, en el centro de esta enzima, actúa como un director de orquesta: sujeta una molécula de agua y la prepara para reaccionar con el CO_2 a una velocidad asombrosa. Sin él, procesos básicos como la respiración o el mantenimiento de nuestro pH sanguíneo serían increíblemente lentos.(5)

Pero su papel no termina ahí. El zinc es también un escultor molecular. En las proteínas llamadas "dedos de zinc", este metal actúa como el armazón o esqueleto interno que le da a la proteína una forma tridimensional precisa. Piensa en estos "dedos" como llaves maestras que, gracias al zinc manteniendo su forma, pueden encajar perfectamente en cerraduras específicas de nuestro ADN. (5) De esta manera, activan o desactivan genes, regulando así desde la producción de proteínas hasta la división celular y las defensas de nuestro cuerpo.

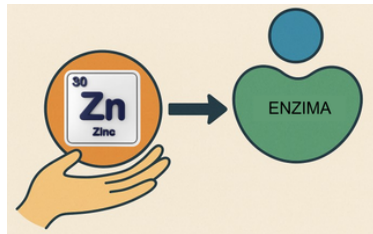


Figura 5.

CONCLUSIONES

Como hemos visto, elementos como el hierro, el cobre, el zinc y el manganeso son mucho más que simples componentes de la tabla periódica: son piezas fundamentales de la maquinaria de la vida. Cada uno, con sus propiedades únicas, desempeña un papel especializado e irremplazable en nuestro organismo.

Podemos imaginarlos como un equipo de superhéroes moleculares donde cada uno tiene un poder distinto:

- El Hierro es el mensajero maestro del oxígeno. Gracias a su capacidad para "agarrar y soltar" oxígeno en el momento justo, garantiza que cada célula de nuestro cuerpo reciba el combustible que necesita para funcionar. Es el pilar de nuestra respiración celular.
- El Cobre es el electricista celular. Su talento para manejar electrones lo hace indispensable para generar energía de forma eficiente en nuestras mitocondrias y para actuar como un guardaespaldas que neutraliza a los peligrosos radicales libres.
- El Zinc es el arquitecto y supervisor. Su fortaleza no está en cambiar, sino en brindar una estructura estable y firme. Es el andamio que da forma a las proteínas que leen nuestro ADN y el asistente esencial que acelera reacciones vitales.

En conjunto, estos metales nos muestran la asombrosa inteligencia de la naturaleza, que ha sabido aprovechar la química inorgánica para construir sistemas biológicos increíblemente eficientes. Entender esta colaboración no solo nos desvela los secretos de la vida, sino que también abre la puerta a futuros avances en medicina y tecnología, inspirándonos a aprender de la ingeniería perfecta que llevamos dentro.





Referencias

1. Fraústo da Silva JJR, Williams RJP. The Biological Chemistry of the Elements: The Inorganic Chemistry of Life. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press; 2001.
2. Bertini I, Gray HB, Stiefel EI, Valentine JS. Biological Inorganic Chemistry: Structure and Reactivity. Sausalito (CA): University Science Books; 2007.
3. Hentze MW, Muckenthaler MU, Andrews NC. Balancing acts: molecular control of mammalian iron metabolism. Cell. 2004;117(3):285–97.
4. Kim BE, Nevitt T, Thiele DJ. Mechanisms for copper acquisition, distribution and regulation. Nat Chem Biol. 2008;4(3):176–85.
5. Vallee BL, Auld DS. Zinc coordination, function, and structure of zinc enzymes and other proteins. Biochemistry. 1990;29(24):5647–59.

