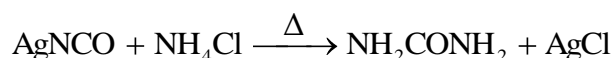


Composición Química de los Seres Vivos

María de la Luz Velázquez Monroy & Miguel Ángel Ordorica Vargas

Elementos Biogénicos

Para todo el mundo resulta claro que existen diferencias muy marcadas entre los seres vivos y la materia inanimada. A falta de una explicación mejor, durante mucho tiempo se atribuyó a la materia viva una esencia especial o *fuera vital*, según esta doctrina, llamada *teoría vitalista* de la vida, los compuestos orgánicos sólo se podían obtener a partir de los seres vivos. En 1828 el químico alemán **Friederich Wöhler** accidentalmente, sintetizó urea cuando trataba de sintetizar cianato de amonio a partir de Cianato de Plata y Cloruro de Amonio:



Esta síntesis, seguida de varias más, ayudó a destruir la teoría vitalista de la vida, e impulsó el estudio de la Química de los seres vivos¹.

Otra consecuencia de estos descubrimientos fue la conclusión de que los compuestos orgánicos están regidos por las mismas leyes físicas y químicas que los compuestos inanimados y por lo tanto, los elementos químicos que forman unos y otros, deben tener las mismas propiedades.

En la composición de los seres vivos se pueden encontrar muchos de los elementos de la tabla periódica, pero es importante señalar que no todos son indispensables para la vida, de hecho actualmente podemos encontrar cantidades importantes de Plomo y otros metales pesados en la sangre de los habitantes de las ciudades, los cuales no son necesarios para la vida y además, son tóxicos.



Figura 1. *Friederich Wöhler*

Los elementos indispensables para la vida son aquellos que **forman parte de la composición química de los seres vivos y cumplen una función biológica**. A los elementos que llenan estos requisitos les denominamos **Elementos Biogénicos**.

Si los elementos químicos, se comportan de igual manera en los compuestos orgánicos o inorgánicos, es interesante preguntarse, ¿Por qué de los 118 elementos de la tabla periódica sólo se reconocen como indispensables para la vida normal de los seres vivos alrededor de 25ⁱⁱ? Esta es una interrogante para la cual aún no se tiene una respuesta satisfactoria, pero podemos identificar algunas propiedades que hacen que un elemento o un grupo de ellos sean inapropiados para la vida, entre estas se encuentran:

A. *Elementos Artificiales*. Los elementos Tecnecio (43) y Prometio (61), así como los elementos transuránidos (número atómico mayor de 93), han sido descubiertos por síntesis, debido a que su velocidad de desintegración es tan grande que no existen en forma natural en la corteza terrestre.

- B. *Radiactividad*. Los elementos pesados Polonio (84), Astatino (85), Francio (87), Radio (88), Actinio (89), Torio (90), Paladio (91), Uranio (92) y Neptunio (93), al igual que los ya mencionados transuránidos, únicamente tienen isótopos inestables y su desintegración radiactiva los hace impropios para su uso como elementos biogénéticos.
- C. *Poca Reactividad Química*. Los elementos terminales de los periodos de la tabla periódica, denominados gases nobles: Helio (2), Neón (10), Argón (18), Kriptón (36), Xenón (54) y Radón (86); son elementos casi inertes y por ello poco útiles en sistemas muy activos como los seres vivos.
- D. *Propiedades Raras*. Los elementos de la serie de los Lantánidos (número atómico entre 57 y 71), tienen propiedades químicas semejantes entre sí, de modo que realmente no son útiles como componentes de sistemas biológicos, en los que se requieren las propiedades específicas de un elemento para cada función.
- E. *Toxicidad*. Elementos como el Berilio (4), Aluminio (13), Antimonio (51), Bario (56), Cadmio (48), Mercurio (80), Talio (81) y Plomo (82) y quizás otros aun no bien estudiados, son tóxicos para los seres vivos por diversas razones.

Eliminando estos elementos, marcados con azul en la **Figura 2**, quedan más de 50 elementos que podrían ser biogénéticos, aproximadamente el doble de los que se conocen.

	IA																		0
1	H																		He
2	Li	Be										B	C	N	O	F			Ne
3	Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl			Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br		Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I		Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At		Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus		Uuo
			5	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			6	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Figura 2. Ubicación de los Elementos Biogénéticos del cuerpo humano (símbolos sombreados) en la Tabla Periódica

Criterios de Selección

Con base en las propiedades de los elementos biogénéticos podemos intentar la definición de los criterios que los hacen útiles para los seres vivos:

1. *Solubilidad en Agua*. El agua es el compuesto más abundante en la biosfera y en la composi-

ción de los seres vivos. Es fácil suponer que los elementos y compuestos que forman la materia viva, deben su participación en ella a la forma como interactúan con el agua, si son solubles o no, si en solución tiene o no carga eléctrica o si afectan de alguna otra manera sus propiedades. Los elementos biogénéticos son todos solubles en agua, ya sea como elementos, iones o en algún compuesto derivado.

2. *Propiedades Fisicoquímicas.* Los elementos biogénéticos tienen peso atómico bajo (ninguno rebasa el peso del Iodo, 126.9), peso específico bajo y calor específico elevado. Estas propiedades hacen que los compuestos que forman sean capaces de contener un máximo de energía en el mínimo posible de masa.
3. *Relación con el Carbono.* Este elemento tiene propiedades químicas que lo hacen adecuado como base de la estructura de las moléculas que forman los seres vivos. Sin lugar a dudas, muchos elementos son biogénéticos por la forma como se enlazan o relacionan con el Carbonoⁱⁱⁱ.
4. *Abundancia Natural.* Los elementos más abundantes en los seres vivos, también son abundantes en la corteza terrestre, aunque con diferencias (**Tabla 5**). El Oxígeno es igualmente abundante en la corteza terrestre, el agua de mar y el cuerpo humano (**Figura 3**), en cambio, Hidrógeno y Carbono incrementan su porcentaje de la corteza, al agua de mar y al cuerpo humano.

Tabla 5. Abundancia Relativa de los Elementos en por ciento del total de átomos

Composición del Universo		Composición de la Corteza Terrestre		Composición del Agua de Mar		Composición del Cuerpo Humano	
H	91	O	47	H	66	H	63
He	9.1	Si	28	O	33	O	25.2
O	0.057	Al	7.9	Cl	0.33	C	9.5
N	0.042	Fe	4.5	Na	0.28	N	1.4
C	0.021	Ca	3.5	Mg	0.033	Ca	0.31
Si	0.003	Na	2.5	S	0.017	P	0.22
Ne	0.003	K	2.5	Ca	0.006	Cl	0.03
Mg	0.002	Mg	2.2	K	0.006	K	0.06
Fe	0.002	Ti	0.46	C	0.0014	S	0.05
S	0.001	H	0.22	Br	0.0005	Na	0.03
		C	0.19			Mg	0.01
Todos los demás, menos de 0.1							

Los criterios mencionados son generales, es posible que un elemento particular no cumpla con uno o más de los criterios y aún así fuera seleccionado. Tal es el caso del Nitrógeno y el Fósforo, que no son de los más abundantes en el medio ambiente pero sin duda sus propiedades especiales los hacen insustituibles y quizá por ello, fueron seleccionados como biogénéticos.

Clasificación

Basándose en las características, distribución y funciones de los elementos biogénéticos, se han elaborado varias clasificaciones, de ellas las más aceptadas son:

- A. *Clasificación por Abundancia.* Está basada en la proporción del peso del organismo humano

Composición Química de los Seres Vivos

que representa un elemento y los divide en:

- Primarios.** Son aquellos que se encuentran en mayor cantidad y sumados constituyen el 99% del peso del organismo: Oxígeno 65%, Carbono 18.5%, Hidrógeno 10%, Nitrógeno 3%, Calcio 1.5% y Fósforo 1%.
- Secundarios.** Participan en menor proporción, pero aún son abundantes: Potasio 0.3%, Azufre 0.25%, Sodio 0.20%, Cloro 0.15%, Magnesio 0.05% y Hierro 0.005%.
- Oligoelementos.** Sólo se encuentran en pequeñas cantidades: Flúor 0.001%, Cobre 0.0002%, Iodo 0.00004%, Manganeseo 0.00003%, Zinc 0.0032%, Cromo 0.0000024%, Cobalto 0.0000021%, Selenio 0.000019%, Molibdeno 0.000013%, Níquel y Estaño, en trazas.

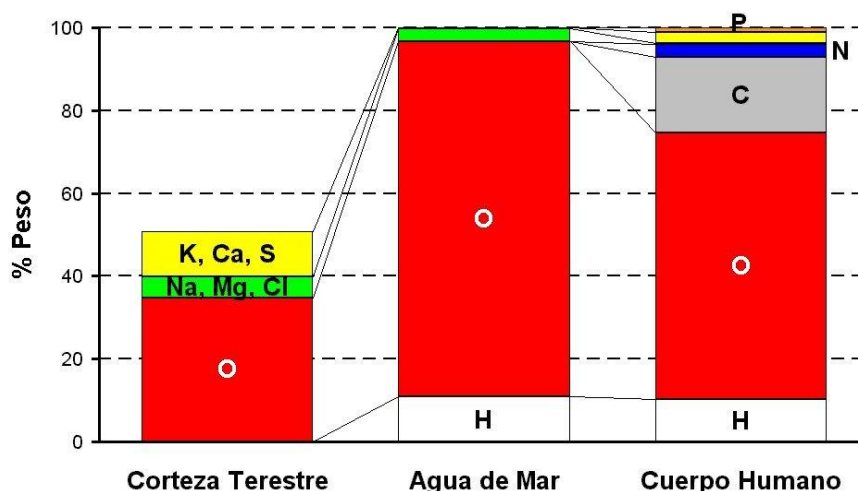


Figura 3. Diferencia en Abundancia de los Elementos Biogénicos

B. **Clasificación Química.** Se clasifican los elementos biogénicos en función de las estructuras en que se encuentran, como:

- Primarios.** Son los elementos que forman los *Principios Inmediatos*: Hidrógeno, Carbono, Nitrógeno, Oxígeno, Fósforo y Azufre. Se encuentran en grandes cantidades.
- Secundarios.** También son abundantes pero no forman los principios inmediatos, sino el *Medio Ambiente* en que se desenvuelven estos: Sodio, Magnesio, Cloro, Potasio y Calcio.
- Microconstituyentes.** Se encuentran en pequeñas cantidades, *complementando las funciones* de las moléculas orgánicas: Flúor, Cromo, Manganeseo, Hierro, Cobalto, Níquel, Cobre, Zinc, Selenio, Molibdeno, Estaño e Iodo.

C. **Clasificación Fisiológica.** Se basa en el papel que desempeñan los elementos biogénicos en la materia viva:

- Plásticos.** Son aquellos que se encuentran en grandes cantidades, y forman el “plasma” de la materia viva: Hidrógeno, Carbono, Nitrógeno, Oxígeno, Sodio, Magnesio, Cloro, Fósforo, Azufre, Potasio y Calcio.
- Oligoelementos.** Participan en la regulación de los procesos metabólicos: Flúor, Cromo, Manganeseo, Hierro, Cobalto, Níquel, Cobre, Zinc, Selenio, Molibdeno, Estaño e Iodo.

Función General

Estudiando los elementos biogénéticos podemos elaborar algunas generalizaciones útiles respecto de sus funciones.

1. Seis elementos, **Hidrógeno, Carbono, Nitrógeno, Oxígeno, Fósforo y Azufre**, forman las moléculas básicas de los seres vivos, **aminoácidos, ácidos grasos, carbohidratos, purinas y pirimidinas**, que son componentes fundamentales de los *principios inmediatos*, **proteínas, lípidos, ácidos nucleicos y polisacáridos**, y también forman la estructura de otras moléculas importantes como las **vitaminas**.
2. Las propiedades eléctricas de los seres vivos dependen de unos pocos elementos, que son capaces de permanecer como partículas cargadas en solución, estos son los **cationes Sodio, Potasio, Calcio y Magnesio**, y los aniones **Cloruro, Fosfato, Carbonato y Sulfato**. Estos iones mantienen el medio celular eléctricamente neutro, regulan la presión osmótica, el equilibrio hídrico y el equilibrio ácido-base. La distribución de los iones es específica, K^+ y Mg^{2+} se acumulan en el interior de la célula, mientras que Na^+ y Ca^{2+} lo hacen en el exterior.
3. Muchos elementos se requieren en trazas, como componentes de sistemas enzimáticos o participando en diversas funciones de regulación; para muchos de ellos no se conocen sus funciones completas.

Los elementos para los cuales se descubra en el futuro que son biogénéticos, como el Litio o el Bromo, por su abundancia y función, seguramente se añadirán al grupo de oligoelementos microconstituyentes.

Función Específica

Además de las funciones generales ya mencionadas, cada elemento biogénético tiene algunas particularidades que vale la pena estudiar. Para esta revisión, usaremos como base la clasificación Química de los elementos biogénéticos, en orden creciente de número atómico.

Elementos Primarios:

Hidrógeno (H, No. Atómico: 1, Peso Atómico: 1.008). En número de átomos es el elemento más abundante, tanto en el organismo como en el universo. Forma parte de todos los compuestos orgánicos, saturando las valencias no ocupadas por átomos pesados. Forma parte de la molécula de agua. La oxidación del Hidrógeno es la principal fuente de energía en los seres vivos. En los seres aeróbicos esta oxidación depende del Oxígeno. Como ión (H^+), determina el pH.

Carbono (C, No. Atómico: 6, Peso Atómico: 12.011). Forma el esqueleto de todos los compuestos orgánicos. Debido a su bajo peso atómico y su elevada electronegatividad, los enlaces covalentes entre átomos de Carbono son muy estables. Para completar su octeto cada átomo comparte 4 electrones formando enlaces simples, dobles o triples. Además, los pares electrónicos compartidos pueden tener acomodos distintos, dando forma y tamaño propios a cada molécula. El Carbono también forma enlaces covalentes estables con H, O, N y S, permitiendo que existan muchas funciones químicas en compuestos orgánicos. El Carbono hidrogenado contiene energía, que se libera por oxidación.

Nitrógeno (N, No. Atómico: 7, Peso Atómico: 14.007). Componente de la estructura de todas las moléculas orgánicas, principalmente proteínas y ácidos nucleicos. Es el elemento limitante en la dieta de los humanos, por que es escaso en la naturaleza. Su reserva principal se encuentra en la atmósfera en forma de N_2 que es inerte. Su ingreso en los ciclos biológicos depende de la fijación por microorganismos. La presencia de un par de electrones no compartido le da un carácter básico. A presión alta produce narcosis. La descompresión rápida que sufren en ocasiones los buzos provoca embolias porque el Nitrógeno disuelto, sale de la solución rápidamente.

Oxígeno (O, No. Atómico: 8, Peso Atómico: 15.999) Es el elemento más abundante, en peso, en el organismo. Se encuentra en la estructura de todos los compuestos orgánicos. Junto con el Hidrógeno, forma la estructura del agua. Es el agente oxidante final en el metabolismo aeróbico y el único de los elementos biogénicos que debe suministrarse en forma continua. Las moléculas orgánicas con Oxígeno, especialmente las que contienen alcoholes (OH), son fuertemente polares.

Fósforo (P, No. Atómico: 15, Peso Atómico: 30.974) Hay entre 12 y 14 g de Fósforo por kilogramo de peso magro en el organismo. Combinado con Calcio forma la parte mineral del hueso. Su metabolismo también está relacionado con el de Calcio. Como fosfato, participa en la regulación intracelular de pH. Constituye parte fundamental de la estructura de los ácidos nucleicos y varias coenzimas, entre ellas el ATP, indispensable para el transporte y almacenamiento de energía. Los ésteres de fosfato de Glúcidos y Lípidos son importantes en el metabolismo. Los procesos de fosforilación y desfosforilación, son importantes en la regulación de la actividad de varias enzimas.

Azufre (S, No. Atómico: 16, Peso Atómico: 32.06) En el organismo hay 2.5 g/kg peso magro. Componente de la estructura de proteínas. Se encuentra en el sitio activo de muchas enzimas y participa en la catálisis, frecuentemente donando pares de electrones. La toxicidad de los metales pesados se debe a que se unen a los grupos tiol (-SH) de las enzimas y las inhiben. También está presente en la coenzima A y las vitaminas Tiamina y Biotina así como en polímeros del tejido conectivo, glucolípidos y sales biliares. En los polisacáridos, el sulfato retiene el agua y aumenta la viscosidad de las soluciones.

Elementos Secundarios

Sodio (Na, No. Atómico: 11, Peso Atómico: 22.990). Hay 1.1-1.4 g/kg de peso magro. Principal catión extracelular en los animales. Importante en la regulación de la presión osmótica, equilibrio hídrico, equilibrio eléctrico y de pH. Participa en la generación del potencial de membrana, conducción de los impulsos nerviosos y otros fenómenos de excitabilidad celular. La diferencia entre las concentraciones intra y extracelulares es mantenida por transporte activo a través de la “Bomba de Sodio y Potasio”. La hormona esteroide Aldosterona favorece la reabsorción renal de Sodio intercambiándolo con Potasio, y el Factor Natriurético Auricular (Atriopeptina) la inhibe. Las plantas terrestres no tienen requerimiento demostrable de sodio.

Magnesio (Mg, No. Atómico: 12, Peso Atómico: 24.305). Con 0.5 g/kg peso magro es el segundo catión intracelular en importancia. El 60% se encuentra junto con el Calcio y el Fósforo formando parte de la estructura del hueso. Estimula la actividad de las cinasas, enzimas que manejan ATP, al formar complejos con los grupos fosfato. Forma parte de la estructura de clorofila. Anta-

gonista del calcio en la excitabilidad celular, al aumentar la concentración de magnesio la excitabilidad disminuye produciendo anestesia y en casos extremos, arritmia y paro cardíaco. Su nivel se eleva durante la hibernación. En la célula se une a proteínas, fosfatos y carboxilatos en forma que depende del pH.

Cloro (Cl, No. Atómico: 17, Peso Atómico: 35.453) En el organismo hay 1.2 g/kg de peso magro. Principal anión extracelular. Participa en la generación del potencial de membrana. Su absorción, distribución y eliminación son paralelas a las del Sodio. Importante en los procesos de regulación de la presión osmótica, pH y equilibrios hídrico y eléctrico. En el eritrocito el “desplazamiento de cloruros” es necesario para mantener los equilibrios hídrico, eléctrico y de pH, compensando la salida de bicarbonato durante el intercambio de gases. Tiene efecto notable sobre la actividad de algunas enzimas como las amilasas.

Potasio (K, No. Atómico: 19, Peso Atómico: 39.102) La cantidad de Potasio en el cuerpo es de 2.6 g/kg de peso magro. Principal catión intracelular en los animales. Junto con el Sodio participa en la generación del potencial de membrana, conducción de impulsos nerviosos y otros fenómenos de excitabilidad celular, así como regulación de pH, presión osmótica, equilibrio hídrico y eléctrico. Estimula la actividad de varias enzimas entre ellas las de síntesis de proteínas. La secreción renal de potasio es activada por Aldosterona, en recambio por el sodio.

Calcio (Ca, No. Atómico: 20, Peso Atómico: 40.08) El 99% de los 22 g/kg de peso magro de Calcio está formando parte del hueso. Cation extracelular. Junto con el Magnesio modula el potencial de membrana. Participa en la coagulación sanguínea uniéndose y activando Protrombina e interactuando con la vitamina K. Es el factor que desencadena la contracción muscular, uniéndose a la Actina para activar la miosina. Afecta la actividad de algunas enzimas como la lipasa. Es regulador importante de la actividad celular interactuando con proteínas como la Calmodulina y las enzimas proteín cinasas. Se almacena activamente en el retículo endoplásmico y las mitocondrias. Modifica la permeabilidad de la membrana celular en la transmisión sináptica permitiendo la liberación de neurotransmisores. El nivel de calcio en la sangre se regula por acción hormonal. La paratohormona se libera cuando hay niveles bajos de calcio y estimula su liberación de hueso, la reabsorción renal y la absorción intestinal. El aumento en los niveles de calcio, provoca la liberación de la hormona Calcitonina, que inhibe la liberación de hueso, aunque este efecto parece importante sólo en animales jóvenes. La vitamina D provoca la liberación de calcio y fósforo del hueso y se necesita para la síntesis de las proteínas indispensables para la absorción intestinal y la reabsorción renal.

Elementos Microconstituyentes

La mayor parte de los microconstituyentes actúan como cofactores enzimáticos. La función de las enzimas mencionadas en el resumen y algunas otras, se describen en la **Tabla 2**.

Para algunos de los elementos microconstituyentes metálicos, se han descrito alteraciones de la salud provocadas por deficiencia y también efectos tóxicos por exceso de ellos en la dieta. Algunas de estas patologías se describen en el texto, mientras que otras se resumen en la **Tabla 3**.

Tabla 2. Enzimas con cofactores metálicos

ELEMENTO	ENZIMA	FUNCIÓN
Hierro en Hemo	Aldehído Oxidasa	Oxidación de Aldehídos.
	Citocromos Catalasa [Hemoglobina]	Transporte de electrones. Eliminación de peróxido de Hidrógeno. Transporte de Oxígeno.
Hierro libre	Ferredoxina	Fotosíntesis
	Succinato deshidrogenasa	Ciclo de Krebs
Cobre	Ceruloplasmina	Absorción de Hierro
	Citocromo c Oxidasa	Cadena Respiratoria.
	Lisina Oxidasa	Formación de Alisina en Colágeno
	Tirosinasa	Síntesis de Melanina en la Piel.
	Monoamino Oxidasa.	Degradación de Aminas.
	Ascorbato Oxidasa	Metabolismo del ácido Ascórbico.
	Plastocianina	Fotosíntesis
	Uricasa	Oxidación del ácido Úrico en Alantoina
	Dopamina-β-hidroxilasa	Convierte la Dopamina e Norepinefrina
Superóxido dismutasa [Hemocianina]	Eliminación del radical libre Superóxido: Transporte de Oxígeno en Invertebrados.	
Zinc	Anhidrasa Carbónica	Intercambio de CO ₂ en la Respiración.
	Superóxido dismutasa	Metabolismo del ion Superóxido (con Cu)
	Carboxipeptidasa	Rompe el enlace C-terminal de Proteínas.
	Lactato Deshidrogenasa	Oxidorreducción reversible Lactato-Piruvato.
	Fosfatasa Alcalina	Hidrólisis de Esteres de Fosfato.
	Glutamato Deshidrogenasa	Desaminación no oxidativa de Glutamato.
	Aldolasa 2	Metabolismo Hepático de Fructosa.
	Malato Deshidrógenasa	Oxidación de Malato en Ciclo de Krebs.
	Piridoxal Fosfocinasa	Fosforilación de Piridoxal de la dieta.
	Alcohol Deshidrogenasa	Oxidación de OH en Aldehídos.
	RNA Polimerasa	Síntesis de RNA (Transcripción)
	DNA Polimerasa	Síntesis de DNA (Replicación)
	Transcriptasa Inversa	Síntesis de DNA a partir de RNA
Timidilato sintetasa	Síntesis de TTP	
Manganeso	Arginasa	Ciclo de la Urea
	Piruvato Carboxilasa	Conversión de Piruvato en Oxalacetato.
	Piruvato Cinasa	Síntesis de ATP a Nivel de Sustrato.
	Fosfoenol piruvato Carboxicinas	Convierte el Piruvato en Fosfoenolpiruvato.
	Creatina Fosfato Cinasa	Transfiere fosfato entre ATP y Creatina
	Adenilato Cinasa (Miocinasa)	Convierte 2 ADP en AMP y ATP.
	Enolasa	Convierte Fosfoglicerato-Fosfoenolpiruvato.
	Histidinasa	Convierte Histidina en Urocanato
	Acetil-CoA Carboxilasa	Convierte Acetil-CoA en Malonil-CoA.
6-fosfogluconato deshidrogenasa	Oxidación descarboxilante de 6-fosfogluconato.	

Tabla 2. Enzimas con cofactores metálicos

ELEMENTO	ENZIMA	FUNCIÓN
Cobalto en B ₁₂	Tetrahidropteroilglutamato Metil Transferasa (B ₁₂)	Metabolismo de Cisteína.
	Metilmalonil-CoA Mutasa (B ₁₂)	Metabolismo de Ácidos Grasos y Aminoácidos.
Cobalto libre	Ribonucleosido Difosfato Reductasa	Síntesis de Desoxinucleótidos
Molibdeno	Xantina Oxidasa	Metabolismo de Purinas.
	Aldehído Oxidasa	Metabolismo de Acetaldehído
	Sulfil Oxidasa	Oxidación de Sulfhidrilo
	Nitrato Reductasa	Utilización de Nitrato.
	Nitrogenasa	Fijación de Nitrógeno.
Calcio	Lipasas [Calmodulina]	Metabolismo de Lípidos. Regulación intracelular de vías metabólicas
Magnesio	Cinasas	Trasferencia de Fosfatos.
	Acil-CoA Sintetasa	Activación de ácidos grasos.
	Arginosuccinato Sintetasa	Síntesis de Arginosuccinato a partir de Citrulina y Aspartato, en el ciclo de la Urea.
	Glutamina Sintetasa	Conversión de NH ₃ y Glutamato en Glutamina
	Transcetolasa	Transferencia de radicales de 2 carbonos en la vía de las Pentosas.
Níquel	Propionil-CoA carboxilasa	Convierte Propionil-CoA D-Metilmalonil-CoA.
	Arginosuccinato sintetasa	Ciclo de la Urea
	[Clorofila]	Fotosíntesis.
Selenio	Glutación peroxidasa	Protección contra daño por oxidación

Flúor (F, No. Atómico: 9, Peso Atómico: 18.998). Componente de hueso. Ingerido en pequeñas cantidades reduce la incidencia de caries dental y parece importante en el desarrollo normal y mantenimiento de los huesos. Factor de crecimiento en ratas. En concentraciones altas mancha los dientes y es tóxico.

Cromo (Cr, No. Atómico: 24, Peso Atómico: 51.996). Indispensable en animales superiores. Forma el factor de tolerancia a la glucosa que se ha relacionado con la actividad de insulina, aunque no forma parte de la estructura de la hormona, la Diabetes mellitus y algunos otros procesos del metabolismo de Glúcidos. Se supone que su mecanismo de acción consiste en favorecer la unión de la insulina a su receptor.

Manganeso (Mn, No. Atómico: 25, Peso Atómico: 54.938). Hay aproximadamente 20 mg totales. Es necesario para la actividad de varias enzimas como Arginasa, Piruvato carboxilasa, Piruvato cinasa, Creatin fosfato cinasa, Adenilato cinasa, Fosfoenolpiruvato Carboxicinas, Acetil-CoA carboxilasa, Enolasa y 6-fosfogluconato deshidrogenasa.

Hierro (Fe, No. Atómico: 26, Peso Atómico: 55.847). Con 3.8 g totales en varones y 2.3 en mujeres, es el microconstituyente más abundante en el organismo. Indispensable para la acción de muchas enzimas de óxido-reducción como Citocromos, Catalasa, Succinato deshidrogenasa, Ferredoxina y Aldehído oxidasa. En los animales superiores la mayor parte se encuentra en el grupo Hemo de los acarreadores de Oxígeno, Hemoglobina y Mioglobina. En el intestino, el hierro es absorbido en su estado reducido (Fe^{2+}). El paso del estado oxidado (Fe^{3+}) a reducido es favorecido por el pH ácido del estómago y agentes reductores como la vitamina C. En la mucosa intestinal, el hierro se vuelve a convertir en Fe^{3+} y se une a la Apoferritina para quedar almacenado como Ferritina, o puede pasar a la sangre. En la sangre también es oxidado a Fe^{3+} por acción de la Ceruloplasmina, enzima del plasma que necesita cobre para actuar, y se une a la Transferrina que lo transporta hasta los tejidos, principalmente hígado, bazo y tejido eritropoyético, donde queda almacenado como Ferritina. Cuando la carga de hierro es muy alta, la Ferritina se transforma en Hemosiderina por acción de enzimas lisosomales. La absorción de hierro en el intestino requiere de niveles adecuados de cobre que favorezcan la acción de la Ceruloplasmina.

Cobalto (Co, No. Atómico: 27, Peso Atómico: 58.933). Es componente de la vitamina B₁₂ coenzima esencial para las enzimas Metilmalonil-CoA mutasa y Tetrahidropteroilglutamato metiltransferasa, de importancia en el metabolismo de aminoácidos en humanos. En forma libre también es cofactor de enzimas como la Ribonucleosido difosfato reductasa. Es necesario para el desarrollo normal de células sanguíneas.

Níquel (Ni, No. Atómico: 28, Peso Atómico: 58.71). Esencial para el crecimiento y osificación de animales. Niveles bajos de níquel en las células afectan las membranas provocando defectos en la estructura del retículo endoplásmico y las mitocondrias. Es cofactor para la enzima Ureasa de los vegetales.

Cobre (Cu, No. Atómico: 29, Peso Atómico: 63.546). En el organismo hay 50-120 mg totales. Componente esencial de varias enzimas de óxido-reducción como Citocromo c oxidasa, Monoamino Oxidasa, Superóxido dismutasa, Lisina Oxidasa, Tirosinasa, Dopamina- β -hidroxilasa, Ascorbato oxidasa y Ceruloplasmina. Forma parte de la hemocianina, acarreador de Oxígeno en algunos invertebrados. Indispensable para la absorción intestinal de hierro y la maduración de células sanguíneas. Se almacena en los tejidos, unido a proteínas específicas como Eritrocupreína en eritrocitos y Hepatocupreína en Hígado.

Zinc (Zn, No. Atómico: 30, Peso Atómico: 65.37). Hay 2 a 3 g en total. Necesario para la actividad de enzimas como Anhidrasa Carbónica, Carboxipeptidasa y Alcohol Deshidrogenasa en cuyos mecanismos de catálisis actúa como un ácido de Lewis^{iv}. Interviene en forma importante en la regulación de la expresión genética formando complejos con DNA y proteínas. Favorece la síntesis de RNA y con ello la síntesis de proteínas. Es esencial para la síntesis de insulina aunque no forma parte de su estructura. Su concentración es más alta en el sistema reproductor masculino. La carencia de Zinc, en los jóvenes provoca desarrollo deficiente del sistema reproductor y en los adultos defectos en la espermatogénesis.

Selenio (Se, No. Atómico: 34, Peso Atómico: 78.96). Necesario para la actividad normal del hígado y músculo liso. La falta de selenio provoca necrosis hepática y cirrosis. Es cofactor de la Peroxidasa de Glutatión y Formato Deshidrogenasa. Se encuentra en la estructura de proteínas

que protegen contra la intoxicación por mercurio. Se ha relacionado con la actividad de la vitamina E. En concentraciones altas es tóxico pues substituye al azufre de Metionina y Cisteína.

Tabla 3. Algunas Patologías Asociadas a los Oligoelementos

ELEMENTO	DEFICIENCIA	TOXICIDAD
Cobre	Neutropenia. Anemia microcítica hipocrómica. Osteoporosis. Cambios en el periosteo. Fracturas patológicas. Tortuosidad de las arterias. Hipotonia	Nausea. Vómito. Diarrea. Cefalea. Mareo. Taquicardia. Hipertensión. Anemia hemolítica. Uremia. Muerte
Zinc	Retraso en el crecimiento. Anorexia. Hipogeusia. Lesiones en piel. Diarrea. Letargia. Irritabilidad. Alopecia. Retraso de la pubertad.	Vómito, deshidratación y desequilibrio electrolítico. Dolor abdominal. Mareo. Incoordinación muscular. Insuficiencia renal aguda.
Magnesio	Pérdida de masa muscular. Diaforesis. Taquicardia. Entumecimiento. Convulsiones. Delirio. Alteraciones de la conducción ventricular, taquicardia y fibrilación ventricular. Coma. Muerte	Depresión del Sistema Nervioso Central. Hipotonía. Hipotermia. Boqueo cardiaco. Coma. Muerte
Cromo	Alteración de la tolerancia a la Glucosa	
Selenio	Necrosis hepática y cirrosis	Nausea y vómito. Perdida del pigmento cutáneo. Alopecia. Lasitud. ¿Aborto?
Manganeso	Pérdida de peso, nausea, vómito, poco crecimiento del cabello y menor pigmentación del mismo. Disminución de la Colesterolemia	Síndrome tipo Parkinson

Molibdeno (No, No. Atómico: 42, Peso Atómico: 95.94). Cofactor de varias enzimas como la Nitrogenasa microbiana que fija el nitrógeno molecular del aire, permitiendo su ingreso a los ciclos biológicos. Estimula la actividad de Xantina Oxidasa y Nitrato Reductasa.

Estaño (Sn, No. Atómico: 50, Peso Atómico: 118.69). Indispensable para el desarrollo de ratas y quizá otros roedores.

Yodo (I, No. Atómico: 53, Peso Atómico: 126.904). El 80% de los 10 a 20 mg totales de Yodo es captado y concentrado por un mecanismo activo en la glándula tiroides, dicha captura es estimulada por la Tirotrófina de la Adenohipófisis. El Yodo se emplea para la síntesis de las hormonas tiroideas, Tiroxina (3,5,3',5'-Tetrayodotironina, T₄) y 3,5,3'-Triyodotironina (T₃) que poseen un gran número de actividades biológicas. La más conocida es la estimulación del consumo de Oxígeno lo que provoca un aumento en el nivel metabólico general. Además son esenciales para el crecimiento normal, estimulan la liberación de ácidos grasos del tejido adiposo, influyen sobre los sistemas de síntesis de proteínas, desacoplan la fosforilación oxidativa y activan la respiración celular con deformación de las mitocondrias. La más activa de las hormonas es la T₃. La carencia de yodo en la dieta provoca el bocio simple. Las deficiencias en función tiroidea son causa de cretinismo en los niños, caracterizado por retardo en el crecimiento, engrosamiento de la piel, crecimiento de la lengua, labios gruesos, retraso mental, hipotermia, etc. El hipotiroidismo en los adultos causa mixedema que se presenta con letargo, cabello reseco, piel amarillenta, pulso lento

y baja en la temperatura corporal.

Notas

ⁱ Aunque el trabajo de Whöler marca el inicio del fin de la teoría vitalista en química, en realidad no fue el primero en obtener un compuesto orgánico por métodos químicos. Un año antes que Wöhler, en 1827, el químico inglés Henry Hennel obtuvo etanol a partir del “gas olefinico” (Etileno) absorbido en ácido sulfúrico. Sin embargo, en esa época el etanol no se consideraba un producto “vital”, como la urea.

ⁱⁱ Este número es un promedio pues existe variación según se consideren los elementos que son indispensables para todos los seres vivos, o se incluyan también los que son indispensables sólo para algunos. Además, existe un grupo de elementos que podrían incorporarse a la lista cuando se resuelvan los problemas técnicos que implica el crear ambientes que carezcan de elementos que se requieren en cantidades muy pequeñas.

ⁱⁱⁱ Se ha mencionado como posible la existencia de sistemas vivos en los cuales el Silicio reemplaza al carbono porque sus propiedades químicas son semejantes. Si esto es posible, ¿por qué no sucedió en la Tierra, siendo el Silicio 146 veces más abundante que el carbono en la corteza terrestre? Un primer problema es la solubilidad, ni el carbono ni el silicio son solubles en agua, pero el CO₂ sí lo es mientras que los óxidos de silicio no, además los enlaces entre los átomos de carbono son más estables que los que se forman entre átomos de Silicio, sin llegar a ser inertes como los silicatos.

^{iv} Los ácidos de Lewis son átomos o moléculas que poseen un orbital vacío y pueden aceptar un par de electrones.