

COBRE

Salud, Medio Ambiente y Nuevas Tecnologías



COBRE

Salud, Medio Ambiente y Nuevas Tecnologías



Contenido	Página
Introducción	5
Capítulo 1: El Cobre y nuestra salud	7
• El cobre: Un elemento esencial para la vida	9
• Metabolismo del cobre	11
• ¿De dónde obtenemos el cobre que necesitamos para vivir?	13
• Cuando la falta de cobre puede ser una enfermedad	17
• ¿Cuánto cobre es bueno?	21
• Exámenes de laboratorio para medir el cobre en nuestro cuerpo	25
• El cobre en la medicina humana	27
Capítulo 2: Propiedades antimicrobianas del Cobre	31
• Actividad antimicrobiana del cobre	33
• Cobre y microorganismos: ¿Por qué el cobre tiene propiedades antimicrobianas?	37
• Bacterias y biopelículas, un serio problema de salud (biofilms)	39
• Cobre, potencial preservante de alimentos	41
• El cobre posee excelentes propiedades antivirales	43
- Efectos antivirales del cobre sobre el Virus de la Inmuno Deficiencia Humana.	43
- Actividad antiviral del cobre sobre el virus de la Influenza Aviar	43
- Nuevos usos del cobre en ropas y la industria textil	44
- El cobre es un potente agente fungicida, alguicida y herbicida	46
• El cobre es aprobado como un potente agente antimicrobiano	47
- El rol del cobre para controlar las infecciones intrahospitalarias	
• El cobre, elemento clave para descontaminar en la industria de los alimentos	51
• Estudio multicéntrico del efecto de superficies con aleaciones de cobre en la eliminación de infecciones intrahospitalarias	55
Capítulo 3: El Cobre y el medio ambiente	57
• El cobre en el ambiente	59
• El contexto del cobre en el mundo	61
• Ciclo de vida del cobre	65
• Usos, aplicaciones y reciclaje del cobre	67
• Regulaciones para la salud y el medioambiente	75
Capítulo 4: La Tecnología en las nuevas aplicaciones del Cobre	89
• Introducción	91
• Prioridades de la Guía de Innovación	95
• Innovación en la Industria del cobre	113
• Propiedades fundamentales del cobre	115
• El Cobre y la sociedad	117
• El cobre hoy en día	119
• Tendencias y desafíos que influyen en el uso del cobre	121
• Implementación de la Guía de Innovación Tecnológica	123
Instituciones y contactos	126





Introducción

En la pasada década del 90 surgen a nivel mundial los primeros requerimientos regulatorios que exigieron al mundo del cobre generar conocimiento sobre los efectos del metal en la salud del ser humano. Esto llevó a realizar una serie de estudios científicos que corroboraran sus aportes benéficos a la salud y el medio ambiente, lo cual hasta esa fecha sólo se reconocía por el traspaso de información desde tiempos ancestrales.

Después de 15 años de investigación científica debidamente reconocida como tal, podemos presentar estos resultados en un lenguaje sencillo y de fácil comprensión por el público en general. Las materias contempladas en este texto reúnen todo lo concerniente a las propiedades benéficas del cobre en su relación con la salud, el medioambiente y su desarrollo tecnológico.

Un capítulo especial es dedicado a sus propiedades antimicrobianas, por el hecho de ser el único metal que científicamente se le reconoce esta propiedad y que, debido a la movilidad de las personas en un mundo globalizado, ha llevado a la vulnerabilidad mundial permanente ante el peligro de transmisión de enfermedades, las cuales son posibles de mitigar y prevenir mediante el uso de cobre en lugares de uso público, centros de atención de salud y empresas procesadoras de alimentos.

La edición de este libro está dirigida a la industria del cobre para su uso y difusión ante los consumidores de sus productos o aplicaciones, para facilitarles el demostrar que el usar esta materia prima produce per se un valor adicional agregado. El cobre está presente en todas las actividades de la humanidad y es un factor primordial en la calidad de vida y en progreso de la humanidad, como lo demuestra el material aquí presentado.



El Cobre **y nuestra salud**

Magdalena Araya • Manuel Olivares Grohnert • Fernando Pizarro

El Cobre, un elemento esencial para la vida

- El cobre es un mineral indispensable por las funciones que cumple en nuestro organismo.

Al igual que los demás minerales, el cobre no puede ser fabricado por los organismos vivos. Como es necesario para mantener las funciones que significan estar vivos, se le denomina “esencial”. Por lo tanto, el hombre debe incorporarlo a su cuerpo desde el medio ambiente, principalmente desde los alimentos y el agua.

¿Por qué el cobre es esencial?

Es esencial porque forma parte de algunas proteínas que se necesitan para llevar a cabo procesos indispensables para mantener vivo al organismo, desde la concepción misma y durante toda la vida.

Principales enzimas que requieren cobre y sus funciones	
Enzima	Función
Superoxido-dismutasa	Estrés oxidativo
Lisil-oxidasa	Metabolismo del colágeno y elastina
Ceruloplasmina	Metabolismo del hierro
Dopamina-monooxigenasa	Producción de catecolaminas, hormonas y neurotransmisores
Tirosinasa	Síntesis de melanina (coloración a la piel y pelo)

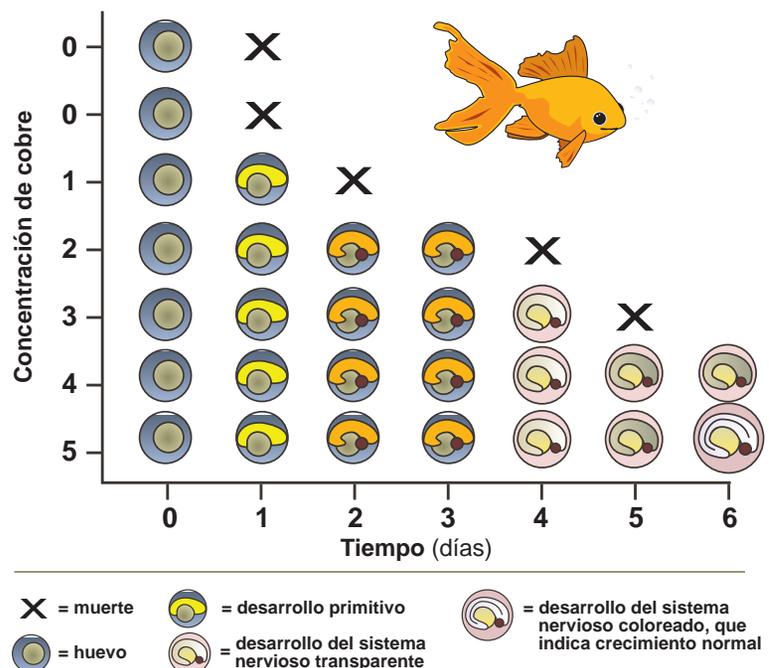
Algunas de estas proteínas, que se llaman “enzimas”, tienen como función permitir que se realicen los procesos mencionados anteriormente. En el recuadro anterior se muestran algunos ejemplos de las principales enzimas y sus funciones.

Para entender en que consiste la esencialidad se han hecho experimentos con huevos de pez cebra que se están incubando para su desarrollo.

Así, se han distinguido las siguientes etapas:

- Cuando no hay suficiente cobre los pececillos no crecen y mueren.
- Cuando hay algo de cobre pero no es suficiente, se inicia el desarrollo pero se produce la muerte a los pocos días.
- Cuando el cobre está en cantidades mayores, el desarrollo avanza hasta formar el sistema nervioso, que representa uno de los primeros sistemas que aparecen durante la maduración de este pez.
- Sólo cuando hay cobre en cantidades suficientes para cubrir todas sus necesidades, el sistema nervioso que se había formado y era transparente, se colorea, lo que indica que se completó el desarrollo normal del pez.

Ilustración de la esencialidad del cobre.



En el hombre, las enzimas dependientes de cobre son vitales durante el desarrollo embrionario y cerebral; participan activamente estimulando el crecimiento de los niños y los mecanismos inmunológicos de defensa; contribuyen a evitar la anemia y la fragilidad ósea; cooperan mejorando la calidad de los tejidos y de la piel; y están activamente presentes en la síntesis de algunas hormonas y neurotransmisores.

La esencialidad del cobre se manifiesta con la muerte, cuando es extrema, y con la aparición de enfermedad cuando es de menor nivel. En la vida diaria, la manera más frecuente de encontrarse con el concepto de esencialidad, es cuando la dieta de la persona es pobre en cobre y determina una disminución de las funciones esenciales para la vida. Estos aspectos serán revisados en más detalle en la sección sobre deficiencia de cobre.

El cobre es indispensable para la vida, por lo que el organismo se asegura de obtenerlo eficientemente desde el medio ambiente.

Referencias:

- International Programme on Chemical Safety (IPCS). Copper. Environmental Health Criteria 200. Geneva: World Health Organization, 1998.
- Linder MC, Hazegh-Azam M. Copper biochemistry and molecular biology. Am J Clin Nutr. 1996; 63:797S-811S
- Mertz W. The essential trace elements. Science. 1981 Sep 18;213(4514):1332-8.
- Olivares M, Uauy R. Copper as an essential element. Am J Clin Nutr. 1996;63:791S-6S.
- Ralph A, McArdle H. Copper Metabolism and copper requirements in the pregnant mother, her fetus, and children. New York: Internatinal Copper Association, 2001
- Uauy R, Olivares M, Gonzalez M. Essentiality of copper in humans Am J Clin Nutr. 1998;67:952S-9S
- WHO/FAO/IAEA. Trace elements in human nutrition and health. Geneva: World Health Organization, 1996.

Metabolismo del Cobre

- La entrada de cobre al organismo y su salida están fuertemente controladas.

Para que el organismo pueda utilizar el cobre que viene desde el ambiente a través de los alimentos y el agua, deben cumplirse una serie de pasos que modifican el material que lo contiene y transporta. Así, primero se digiere en el estómago e intestino, que representan el compartimiento intermedio entre el medio ambiente y el interior del organismo. Luego ingresa al organismo para ser utilizado en las funciones que se mencionaron anteriormente.

Revisemos algunos detalles que son interesantes. El estómago tiene un ambiente ácido que favorece la liberación del cobre desde el agua y los alimentos. La absorción ocurre principalmente en el intestino delgado, por lo que se necesita que este esté sano para que ocurra el proceso.

La cantidad de cobre absorbido depende en parte de la cantidad total contenida en la dieta y de los componentes que lo acompañan. Por ejemplo, hay sustancias que favorecen su absorción, como las carnes; en cambio, la leche, algunos azúcares y otros minerales (cinc) la disminuirían.

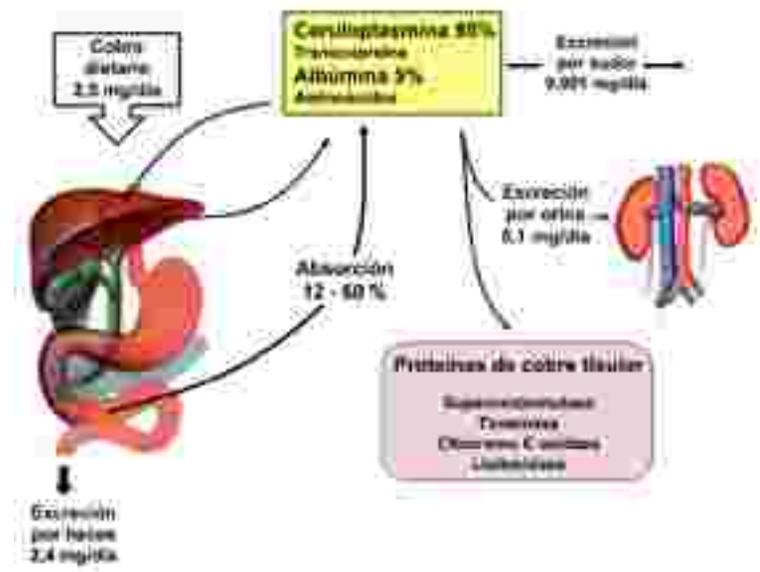
Cuando el cobre se absorbe en el intestino es llevado al hígado, donde se almacena y se entrega -de manera muy regulada- a los distintos sistemas que lo necesitan.

El cobre que sale desde el hígado hacia los diversos tejidos va siempre unido, nunca libre, a una proteína crucial en el metabolismo del mineral, llamada “**ceruloplasmina**”.

El cobre que no se necesita es eliminado a través de la bilis, devuelto hacia el intestino y se elimina a través de las deposiciones. Como es tan importante en el funcionamiento del organismo, cada paso y actividad en que está involucrado está altamente controlada. Por ejemplo, cuando el aporte en la dieta es bajo, la absorción se maximiza y la eliminación por la bilis disminuye.

Al revés, la absorción se minimiza y aumenta la excreción si los aportes son mayores que los necesarios. Este proceso de controlar y regular las cantidades de cobre en el organismo, resguardando que esté donde se le necesita, sin permitir la aparición de carencias o excesos, se llama **homeostasis**, y es fundamental para el buen manejo del cobre y la salud del individuo. La figura a continuación ilustra el metabolismo del cobre.

Metabolismo del cobre



A menudo se pregunta si hay riesgo para la salud de los obreros de las minas de cobre y fundiciones, debido a la posible absorción del metal por las vías respiratorias y la piel. La evidencia muestra que la absorción de cobre por estas vías es casi nula.

El cobre en esa situación es metálico y no absorbible en las condiciones del tejido respiratorio y la piel; el riesgo que puedan tener estas personas depende de factores como otros elementos contenidos en las partículas del aire y el tamaño de dichas partículas.

El manejo del cobre en el organismo es altamente controlado, minimizando los riesgos por deficiencia y exceso.

Referencias:

- Linder MC, Hazegh-Azam M. Copper biochemistry and molecular biology. Am J Clin Nutr. 1996; 63:797S-811S
- Lonnerdal B. Bioavailability of copper. Am J Clin Nutr. 1996; 63: 821S-9S
- Lonnerdal B. Intestinal regulation of copper homeostasis: a developmental perspective. Am J Clin Nutr. 2008; 88: 846S-50S
- National Academy of Sciences. Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. Washington DC: National Academy of Sciences, 2001.
- Ralph A, McArdle H. Copper Metabolism and copper requirements in the pregnant mother, her fetus, and children. New York: International Copper Association, 2001
- Turnlund JR. Human whole-body copper metabolism.

¿De dónde obtenemos el Cobre que necesitamos para vivir?

- Las fuentes naturales de las cuales obtenemos el cobre son los alimentos y el agua
- Situación de la dieta en distintos países

El cobre en los alimentos

Como ya dijimos, nuestro organismo no es capaz de producir cobre de modo que lo tenemos que obtener de la dieta. La mayoría de lo que requerimos de este metal es proporcionado por los alimentos; la diferencia es aportada por el agua y por el consumo de suplementos minerales que contienen cobre, conducta que es más común en los países desarrollados.

El contenido de cobre de los alimentos varía según el tipo de alimento y procesamiento de éstos. En las plantas y animales hay variaciones en su contenido de cobre relacionados con la especie y las condiciones en que crecen y se desarrollan. En las plantas influyen las condiciones del suelo y el tipo de fertilizante utilizado, mientras que en los animales el contenido de este mineral depende, en parte, de la dieta que estos consuman.

Respecto a los efectos del procesamiento de los alimentos cabe señalar que estos procedimientos modifican su contenido de cobre. Los cereales procesados tienen un menor contenido de cobre que los integrales. Así mismo los alimentos ácidos cocidos o almacenados en recipientes de cobre aumentan su contenido de este mineral.

En la industria de alimentos se utilizan recipientes de cobre para la preparación de algunos quesos, bebidas alcohólicas (whisky, pisco) y confites (maní confitado). Por otra parte, como una estrategia para prevenir la deficiencia de minerales, algunos alimentos son enriquecidos con estos.

A algunos de estos alimentos se les agrega cobre, especialmente las leches para niños pequeños y algunos cereales para desayuno. Por ejemplo en Chile, la leche que reciben gratuitamente los niños menores de 18 meses de edad (Leche Purita Fortificada), está fortificada con hierro, cinc y cobre.

Entre los alimentos ricos en cobre se encuentran los mariscos y las vísceras, los huevos, algunas semillas, las legumbres, los cereales integrales, las callampas, champiñones, frutas secas, papas y el chocolate, ya que el cacao tiene un alto contenido de este mineral (ver recuadro).

Las carnes de todo tipo (vacuno, cordero, cerdo, aves y peces) si bien tienen menos cobre que los anteriores, son una buena fuente de este metal. Por el contrario, las frutas, verduras y los productos lácteos son alimentos pobres en cobre.

¿Cuales son los alimentos que tienen más cobre?		
Mariscos	Vísceras	Legumbres
<ul style="list-style-type: none"> • Ostras • Choritos • Choros • Cholgas • Almejas • Camarones • Jaibas • Otros crustáceos 	<ul style="list-style-type: none"> • Hígado • Riñones • Cerebro 	<ul style="list-style-type: none"> • Porotos • Lentejas • Garbanzos • Soya
	Semillas	
	<ul style="list-style-type: none"> • Nueces • Maní • Almendras • Girasol 	Otros
Hongos		<ul style="list-style-type: none"> • Huevos • Cereales integrales • Frutas secas • Papas • Chocolate
<ul style="list-style-type: none"> • Callampas • Champiñones 		

El cobre es un micro-nutriente requerido por el organismo para tener una buena salud.

En el siguiente recuadro se muestran los contenidos de cobre de los alimentos de mayor consumo:

Contenido de cobre (mg por 100 g) de algunos alimentos consumidos en Chile			
Vegetales de hoja		Otros vegetales	
Acelga	0,09	Champiñones	0,24
Apio	0,02	Choclo	0,05
Espinacas	0,16	Cochayuyos	0,14
Lechuga	0,06	Palta	0,32
Legumbres		Pimentón	
Arvejas en conserva	0,26	Tomates	0,04
Lentejas	0,79	Zapallo	0,08
Porotos granados	0,31	Frutas	
Porotos tórtola	0,86	Duraznos en conserva	0,02
Porotos verdes	0,07	Duraznos	0,08
Tubérculos		Manzana	
Cebollas	0,04	Melón tuna	0,01
Papas sin piel	0,11	Naranjas	0,05
Papas fritas	0,19	Pasa de uva	0,35
Zanahoria	0,05	Pera	0,08
Cereales		Plátano (banano)	
Arroz	0,10	Uva	0,05
Galletas de vino	0,07	Semillas	
Galletas de chocolate	0,11	Almendras	1,03
Galleta de soda	0,19	Maní	0,85
Harina de trigo	0,21	Nueces	1,77
Pan Marraqueta	0,25	Lácteos	
Pan de molde blanco	0,08	Leche condensada	0,06
Pan de molde integral	0,16	Leche instantánea	0,11
Tallarines	0,26	Leche fortificada en polvo	0,41
Pescado		Leche fluida UHT	
Atún en conserva	0,00	Leche con chocolate	0,06
Congrio negro	0,02	Queso chanco	0,01
Jurel en conserva	0,07	Queso fresco	0,02
Merluza	0,03	Queso gauda	0,01
Mariscos		Yogurt batido	
Almejas	0,14	Ave	
Camarones	0,44	Pechuga de pollo	0,10
Choritos	0,11	Trutro de pollo	0,09
Machas	0,17	Pechuga de pavo	0,04
Ostras	1,13	Huevo entero	0,74
Carne vacuno, porcino		Postres basados en leche	
Asado carnicero	0,06	Flan Chocolate	0,25
Carne molida corriente	0,10	Flan (vainilla, caramelo)	0,09
Chuleta de vacuno	0,25	Helado de chocolate	0,22
Chuleta de cerdo	0,09	Helado de vainilla	0,09
Hamburguesa	0,04	Manjar	0,00
Jamón	0,17	Dulces y edulcorantes	
Lomo de cerdo	0,09	Azúcar	0,00
Longaniza	0,10	Chocolate dulce	0,51
Vieneses	0,13	Colacao	0,98
Mortadela	0,11	Milo	0,46
Paté de ternera	0,81	Grasas y aceites	
Pana de vaca	4,83	Aceite	0,01
Osobuco	0,10	Margarina	0,01
Posta rosada	0,09	Mayonesa	0,00
Cereales de desayuno		Bebidas no alcohólicas	
Avena	0,34	Bilz	0,00
Cereales con chocolate	0,62	Coca Cola	0,02
Cereales sin chocolate	0,03	Agua mineral	0,01
Bebidas alcohólicas			
Cerveza	0,01		
Vino tinto	0,03		
Pisco	0,30		

El contenido es en los alimentos crudos, excepto algunos procesados.
Datos obtenidos de Olivares y colaboradores.

En un estudio realizado en Santiago de Chile entre 1997 y 1998, se encontró que los cereales y leguminosas eran los alimentos que más aportaban al consumo de cobre de nuestra población (Tabla 1). El bajo aporte de los mariscos y pescados se explica por el reducido consumo de estos productos en nuestro país.

Tabla 1. Aporte de los diferentes grupos de alimentos al consumo de cobre de la población adulta de Santiago.

Grupo de alimentos	Aporte (%)	Grupo de alimentos	Aporte (%)
Frutas	6,4	Carnes*	16,8
Vegetales	13,3	Pescados y mariscos	0,9
Cereales y legumbres	42,4	Grasas y aceites	0,2
Leche y derivados	2,4	Otros	9,2
Huevos	8,3		

* (vacuno, cerdo, cordero, aves).
Datos obtenidos de Olivares y colaboradores.

Cuando se analiza el aporte de cobre en la dieta, es necesario considerar no sólo su contenido en los alimentos si no también cuanto es absorbido desde cada uno de ellos. En los alimentos de origen animal el cobre es mucho mejor absorbido que aquel provisto por los alimentos de origen vegetal; lo mismo ocurre con la leche materna respecto a la leche de vaca. La mezcla alimenticia en que va el cobre que uno come determina si será más o menos absorbido por el organismo, lo que se llama la “**biodisponibilidad**”.

Cobre en el agua de bebida

Como consecuencia de que el cobre es un elemento que naturalmente se encuentra en las rocas y el suelo, las aguas superficiales y subterráneas contienen este mineral. El agua al ser transportada por cañerías de cobre puede aumentar este contenido por la liberación del mineral desde la cañería. Hay condiciones del agua que aumentan esta liberación, como ocurre con las aguas ácidas o blandas, con el estancamiento de ésta en la cañería (por ejemplo el agua que permaneció en la cañería durante la noche) y con el aumento de la temperatura.

Si quisiéramos disminuir el contenido de cobre del agua potable estancada durante la noche, basta abrir una llave por más de 30 a 60 segundos o tirar la cadena del baño. También, la liberación de cobre es mayor en las cañerías nuevas, ya que con el paso del tiempo se forma una pátina (“**corrosión**”) en el interior de la cañería que disminuye la entrega de cobre.

Las aguas potables tienen un contenido de cobre bastante bajo (habitualmente menor de 0,1 mg por litro); sin embargo, algunas aguas no tratadas, especialmente las de pozo, pueden tener condiciones que promuevan una liberación excesiva de cobre desde el suelo y especialmente por corrosión de las cañerías de cobre.

Cuando el agua que bebemos tiene una concentración inferior a 0,1 mg de cobre por litro, el aporte de los alimentos representa sobre el 90% de las necesidades del adulto. Sin embargo, cuando la concentración es entre 1 a 3 mg por litro, esta proporción puede llegar hasta un 50% del cobre ingerido.

En niños menores de 1 año alimentados con leche en polvo fortificada con cobre, el agua utilizada para preparar la leche aporta menos del 10% del cobre consumido y alrededor del 50% cuando la leche no está fortificada, especialmente cuando el contenido de cobre en el agua es entre 1 a 2 mg por litro.

¿Cuánto es el consumo recomendable de cobre?

Varios organismos internacionales y nacionales han establecido recomendaciones de consumo diario de cobre, que cubren las necesidades de los distintos grupos de la población. Estas son distintas para los diferentes grupos de edad, así como en embarazadas y madres que están dando pecho. Además, existen variaciones de los requerimientos entre los individuos de cada grupo. Las recomendaciones cubren las necesidades del 97,5% de los sujetos. También se ha establecido la cantidad máxima segura diaria ("límite superior seguro") de consumo continuo, que evita cualquier riesgo para la salud.

La recomendación más utilizada es la que estableció el Instituto de Medicina de Estados Unidos en el año 2002 y que se muestra en las tablas 2 y 3. La Organización Mundial de la Salud ha estimado los requerimientos de cobre en 12,5 microgramos por kilogramo de peso por día en los adultos y alrededor de 50 microgramos por kilogramo de peso por día para los menores de un año.

Tabla 2. Consumo diario de cobre recomendado por el Instituto de Medicina de Estados Unidos de Norteamérica.

Grupo	Recomendación (mg/día)
1 – 3 años	0,34
4 – 8 años	0,44
9 – 13 años	0,70
14 – 18 años	0,89
Mayor 18 años	0,90
Embarazada	1,00
Nodriz	1,30

Como los datos sobre niños menores de 1 año eran insuficientes, se tomó como referencia la cantidad de cobre contenido en la leche materna y los volúmenes habitualmente consumidos de esta por los niños a esa edad, llegándose a estimar la cifra de 0,2 mg por día como la cantidad adecuada para los primeros seis meses de vida y 0,22 mg por día en el segundo semestre de la vida.

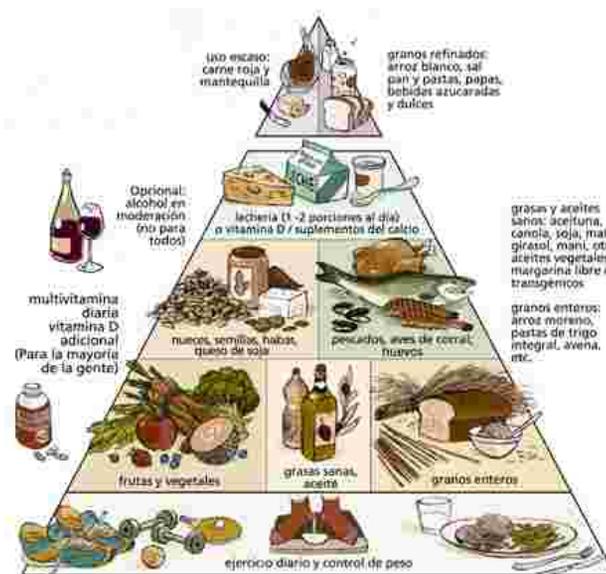
Tabla 3. Consumo diario máximo seguro de cobre establecido por el Instituto de Medicina de Estados Unidos de Norteamérica.

Grupo	Límite máximo (mg/día)
1 – 3 años	1
4 – 8 años	3
9 – 13 años	5
14 – 18 años	8
Mayor 18 años	10
Embarazada <18 años	8
Embarazada • 18 años	10
Nodriz <18 años	8
Nodriz • 18 años	10

El contenido máximo aceptable de cobre en el agua potable ha sido establecido por la Organización Mundial de la Salud y por otras instituciones como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. La OMS estableció para el agua potable una cantidad máxima de cobre de 2 mg por litro.

Situación del aporte de cobre por la dieta en distintos países

Nuestros hábitos de alimentación han cambiado notablemente en las últimas décadas, en que progresivamente ha aumentado el consumo de grasas, cereales refinados, bebidas azucaradas y disminuido el consumo de otros alimentos, como por ejemplo las legumbres. Esto ha llevado a una disminución del cobre que recibimos desde nuestra dieta.



Abreviaturas: miligramo (mg) Organización Mundial de la Salud (OMS) menor (<) mayor (>)

En 1998 la OMS analizó las dietas de diferentes áreas, encontrando que en países desarrollados el consumo promedio de cobre fluctuaba entre 0,9 y 2,2 mg de cobre por día. En Europa, este consumo variaba entre 1 a 2,26 mg diarios en los hombres y 0,9 a 1,1 mg en las mujeres. De las 849 dietas de Europa y Norteamérica analizadas, 30% de ellas aportaba menos de 1 mg de cobre al día. Basado en este análisis la OMS concluyó que *“a partir de los datos sobre exposición humana en todo el mundo, pero especialmente en Europa y las Américas, hay un riesgo mayor de efectos de salud debido a deficiencia de ingesta de cobre que debido a exceso de ingesta de cobre.”*

Cabe señalar que en los países desarrollados se agrega alrededor de 2 mg adicionales provenientes del consumo de suplementos de vitaminas/minerales, que en general son auto indicados y de amplio uso por parte de la población.

El agua potable, en la gran mayoría de los casos aporta entre 0,1 - 1 mg adicionales por día. Diversos estudios más recientes realizados en países desarrollados y en vías de desarrollo han mostrado consumos promedio de cobre cercanos a la recomendación, indicando que un número significativo de los sujetos ingiere menos cobre que lo recomendado. **En el estudio antes mencionado realizado en Santiago de Chile, el consumo promedio de los adultos fue de 1 mg de cobre al día, destacando que un 46,3% de los hombres y un 66,1% de las mujeres recibían menos cobre que lo recomendado.**

Por otra parte, es prácticamente imposible consumir más cobre que el máximo recomendado como seguro, sólo en situaciones muy excepcionales en que se ingieran alimentos contaminados con cobre o agua potable no tratada que contenga una alta concentración de dicho mineral.

Debemos poner atención a la cantidad de cobre que comemos, ya que lo que aportan los alimentos y el agua no necesariamente son suficientes en algunos períodos de la vida.

Referencias.

- Committee on Copper in Drinking Water. Board on Environmental Studies and Toxicology. Commission of Life Sciences. National Research Council. Copper in drinking water. Washington D.C.: National Academy Press, 2000.
- Georgopoulos PG, Wang SW, Georgopoulos IG, Yonone-Liroy MJ, Liroy PJ. Assessment of human exposure to copper: a case study using the NHEXAS database. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2006;16:397-409.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). Human dietary intakes of trace elements: a global literature survey mainly for the period 1970-1991. I. Data list and sources of information. Vienna: IAEA, 1992.
- International Programme on Chemical Safety (IPCS). Copper. Environmental Health Criteria 200. Geneva: World Health Organization, 1998.
- National Academy of Sciences. Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. Washington DC: National Academy of Sciences, 2001.
- Olivares M, Araya M, Uauy R. Copper homeostasis in infant nutrition: deficit and excess. J Pediatr Gastroenterol Nutr 2000;31:102-11.
- Olivares M, Pizarro F, de Pablo S, Araya M, Uauy R. Iron, zinc and copper: contents in common Chilean Foods and daily intakes in Santiago, Chile. Nutrition 2004;20:205-12.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Vol. 1: Recomendaciones. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2006. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Sathra SS, Wheatley AD, Cross HJ. Dietary exposure to copper in the European Union and its assessment for EU regulatory risk assessment. Sci Total Environ. 2007;374:223-34.
- WHO/FAO/IAEA. Trace elements in human nutrition and health. Geneva: World Health Organization, 1996.

Cuando la falta de Cobre puede ser una enfermedad

- Causas de la carencia de cobre
- Consecuencias de la deficiencia de este mineral

La deficiencia de cobre es el principal problema de salud relacionado con este mineral. Afecta más frecuentemente a los niños, aunque también ha sido descrita en otras edades. Recientemente se ha visto un aumento de su frecuencia en ancianos.

Espectro de la carencia de cobre



La deficiencia puede tener grados variables de severidad, pudiendo ir desde alteraciones leves o moderadas, que no son aparentes, a las formas severas en que aparecen una serie de manifestaciones clínicas que describiremos más adelante. La deficiencia severa de cobre es la punta del iceberg ya que es bastante poco frecuente, mientras que las formas menos aparentes son mucho más abundantes.

¿Cuándo la deficiencia de cobre es una enfermedad?

La deficiencia de cobre puede ser de origen genético o mucho más frecuentemente un fenómeno adquirido. Ocurre habitualmente en individuos o grupos poblacionales que consumen una dieta con bajo contenido de cobre y/o tienen pobre absorción del mineral. Estos fenómenos toman especial importancia cuando se asocian a un aumento de las necesidades debido a la gran demanda impuesta por el crecimiento (en el niño) o embarazo, o bien a un aumento de las pérdidas de mineral por diarreas a repetición o prolongadas. Las diferentes causas que pueden originar una carencia de cobre se muestran en el recuadro.

Causas de deficiencia de cobre adquirida

Depósitos disminuidos al nacer (niños prematuros)

Aporte insuficiente

- Dieta con bajo contenido de cobre
- Disminución de la absorción de cobre

Aumento de las necesidades

- Crecimiento
- Embarazo
- Amamantamiento

Aumento de las pérdidas

- Diarreas a repetición
- Diarreas prolongadas

Los niños al nacer tienen una gran cantidad de cobre acumulado en el hígado, constituyendo esto una reserva para cubrir sus necesidades durante los primeros meses de vida, período en que el aporte de este metal por la dieta es bajo. Durante los últimos tres meses de embarazo el feto recibe la mayor proporción del cobre que le traspasa la madre, de modo que aquellos niños que nacen antes de tiempo (prematuros) tienen una menor cantidad de cobre en el hígado y por tanto agotan esta reserva precozmente y pueden desarrollar deficiencia.

El consumo de una dieta pobre en cobre es la principal causa de deficiencia de este elemento. Los niños alimentados con leche materna tienen un menor riesgo que aquellos que reciben leche de vaca, ya que la leche humana tiene un mayor contenido y mejor absorción de cobre que la leche de vaca. Es por ello que algunas de las leches para niños pequeños están enriquecidas con cobre.

En otros períodos de la vida, el consumo de dietas pobres en cobre es la causal mas frecuente de esta carencia. Existen condiciones en que el cobre de la dieta no es bien absorbido. El consumo de cinc en altas dosis disminuye la absorción de cobre, también algunos componentes de la dieta disminuyen la absorción. En los adultos mayores la capacidad de digerir los alimentos disminuye progresivamente y los minerales de la dieta no son totalmente liberados, por lo tanto la cantidad de cobre que es absorbida es menor.

También hay algunas enfermedades en la que hay problemas de absorción intestinal, como ocurre por ejemplo en la enfermedad celíaca, en que la absorción de diversos componentes de los alimentos, entre ellos el cobre y otros minerales, están disminuidos. Hay períodos del ciclo vital en que las necesidades de cobre están aumentadas.

La deficiencia de cobre es más frecuente en la niñez, debido a que en ese período de la vida las necesidades de cobre están aumentadas por los mayores requerimientos del crecimiento. Esto es particularmente importante en el niño menor de un año, ya que a esa edad la velocidad de crecimiento es notablemente elevada. También existe un aumento de las necesidades de cobre en la embarazada, ya que la madre debe proveer el cobre que el feto necesita para su desarrollo, y en la mujer que está dando pecho debido a que la leche que ella produce contiene cobre.



Las pérdidas de cobre a consecuencia de diarreas prolongadas o a repetición, es una causa frecuente de deficiencia de cobre en los países del tercer mundo, especialmente en los niños pequeños. Los niños desnutridos presentan habitualmente varias de estas condiciones causales de deficiencia de cobre.

En ellos es más frecuente el haber nacido prematuro, haber tenido un período corto de alimentación al pecho y haber presentado diarreas a repetición. Ellos generalmente reciben una dieta basada en leche de vaca no fortificada y alimentos predominantemente de origen vegetal, ricos en azúcares. A lo que se agrega, una vez que ellos son tratados, un aumento de las necesidades de cobre al volver a crecer. Los primeros casos de deficiencia de cobre severa se describieron, durante los años 60 en Perú y en la década de los 70 en Chile, en niños desnutridos en recuperación nutricional.

Existe una enfermedad rara, genética, llamada “enfermedad de Menkes”, en la que se desarrolla una deficiencia de cobre grave debido a una falla de la absorción de cobre. Se manifiesta en el curso de los tres primeros meses de edad y habitualmente lleva a la muerte antes de los 5 años de edad. Esta enfermedad está relacionada con el sexo (afecta a los varones) y ocurre un caso cada 250.000 nacimientos. Hasta la fecha no existe un tratamiento realmente efectivo para esta deficiencia. Existe una forma menos severa, denominada “cuerno occipital”, en que los síntomas son más leves y de avance más lento, pudiendo los sujetos llegar a la vida adulta. En estos casos la radiografía de cráneo muestra una especie de cuerno óseo en la parte posterior de la cabeza y de ahí su nombre.

¿Cuán frecuente es la carencia de cobre?

Es menos frecuente que las deficiencias de hierro y cinc y afecta predominantemente a los niños, especialmente a aquellos que presentan desnutrición. Más recientemente se ha encontrado esta carencia en adultos mayores, en especial de edades superiores a los 70 años. No existe información de cual es la frecuencia de esta carencia a nivel mundial. Algunos estudios realizados en Latinoamérica, en niños, embarazadas y adultos mayores, indican que la carencia de cobre sí existe en nuestras poblaciones (Tabla 1). Esto es importante porque existen grupos profesionales de países desarrollados que piensan que la deficiencia de cobre es tan infrecuente que no merece atención.

Tabla 1. Frecuencia de la carencia de cobre en estudios realizados en algunos países de Latinoamérica.

Grupo estudiado	Porcentaje con carencia de cobre	Ciudad / País
Niños desnutridos	40	Santiago de Chile (década de los 70)
Niños desnutridos severos	91	Cochabamba, Bolivia
Niños desnutridos moderados	64	Cochabamba, Bolivia
Niños menores de 2 años	20	Lima, Perú
Embarazadas	9	Lima, Perú
Preescolares y escolares	8,5	Zona suburbana de la Provincia de Buenos Aires, Argentina
Adultos mayores	30	Santiago, Chile

¿Cómo se manifiesta la carencia de cobre?

Los principales síntomas de la deficiencia severa de cobre son anemia, disminución de los glóbulos blancos, disminución de las plaquetas y alteraciones de los huesos. La carencia de cobre impide la absorción y la movilización del hierro que está almacenado en nuestro organismo, lo que lleva a que no haya suficiente de este metal para una producción normal de los glóbulos rojos y por tanto se desarrolla anemia, la que se recupera dando cobre.

Contribuyen a la producción de la anemia un aumento de la destrucción de los glóbulos rojos, debido a que la capacidad de estas células para protegerse de los efectos de los oxidantes está afectada, y una menor producción o efecto de la hormona necesaria para la producción de los glóbulos rojos (eritropoyetina).

En esta carencia también hay menor producción de un tipo de glóbulos blancos llamados “neutrófilos” y de plaquetas, encontrándose una disminución de ambas células en la sangre. Otra manifestación de deficiencia severa de cobre en niños, es la disminución marcada de la densidad y fortaleza de los huesos, apareciendo osteoporosis y fragilidad, con el consiguiente riesgo de fracturas. En el adulto la osteoporosis es causada por diversos factores, siendo uno de ellos la falta de cobre.

La carencia moderada y severa de cobre se acompaña de otras alteraciones, como por ejemplo menor velocidad de crecimiento en los niños, alteración de la capacidad de los glóbulos blancos de defenderse de las bacterias, disminución del sistema de defensas (inmunidad), que llevan a una mayor frecuencia de infecciones pulmonares severas.

Manifestaciones menos frecuentes son la menor pigmentación de la piel y pelos, alteraciones del metabolismo del colesterol y la glucosa, aumento de la presión arterial y aparición de anomalías del ritmo del corazón (por ejemplo: palpitaciones, latidos irregulares, etc.).

Recientemente, en adultos se ha encontrado que la falta de cobre puede producir alteraciones en la médula espinal que llevan a alteraciones de la fuerza muscular, de la sensibilidad y de la coordinación de los movimientos, que se puede o no acompañar de anemia, lo que es muy parecido a lo que ocurre cuando falta la vitamina B12.

La carencia de cobre durante el embarazo puede producir abortos, malformaciones del feto y menor crecimiento de este. En la enfermedad de Menkes se produce una carencia de cobre que afecta al niño desde que se encuentra en el útero y sigue después que nace. Luego, se pueden presentar otras manifestaciones tales como: retardo mental, convulsiones, fragilidad y dilatación de los vasos sanguíneos (aneurismas), pelo retorcido y alteración de la visión.

Efectos de la carencia de cobre

- Anemia
- Baja de glóbulos blancos
- Baja de plaquetas
- Osteoporosis y fragilidad del hueso
- Menor crecimiento
- Disminución de las defensas
- Mayor frecuencia de infecciones pulmonares severas
- Menor pigmentación de la piel y pelos
- Aumento del colesterol
- Aumento de la glucosa en sangre
- Alteraciones del ritmo cardíaco
- Aumento de la presión arterial
- Malformaciones o menor crecimiento del feto
- Compromiso de la fuerza y coordinación muscular y de la sensibilidad
- Daño cerebral y retardo mental (sólo en la enfermedad de Menkes)
- Pelo retorcido (sólo en la enfermedad de Menkes)
- Dilatación de vasos sanguíneos (sólo en la enfermedad de Menkes)

Los principales problemas de salud producidos por la deficiencia de cobre son la anemia, la disminución de glóbulos blancos y la osteoporosis.

Referencias

- Castillo-Durán C, Fisberg M, Valenzuela A, Egaña JI, Uauy R. Controlled trial of copper supplementation during the recovery from marasmus. Am J Clin Nutr. 1983;37:898-903.
- Danks DM. Copper deficiency in humans. Ann Rev Nutr 1988;8:235-57.
- FAO/WHO/IAEA. Trace elements in human nutrition and health. Geneva: World Health Organization, 1996.
- Ilich JZ, Kerstetter JE. Nutrition in bone health revisited: A story beyond calcium. J Am Coll Nutr 2000;19:715-37.
- Kumar N, Gross JB, Ahlskog JE. Copper deficiency myelopathy produces a clinical picture like subacute combined degeneration. Neurology 2004;63:33-9.
- Madsen E, Gitlin JD. Copper deficiency. Curr Opin Gastroenterol 2007;23:187-192.
- Muñoz C, Ríos E, Olivares J, Brunser O, Olivares M. Iron, copper and immunocompetence. Brit J Nutr 2007;98 (Suppl 1):S24-S28.
- Olivares M, Araya M, Uauy R. Copper homeostasis in infant nutrition: deficit and excess. J Pediatr Gastroenterol Nutr 2000;31:102-111.
- Olivares M, Hertrampf E, Uauy R. Copper and zinc interactions in anemia: a public health perspective. In: Kraemer K., Zimmermann M.B., editors. Nutritional Anemia. Basel, Switzerland: Slight and Life Press; 2007. (Chapter 8): 99-109.
- Olivares M, Uauy R. Copper as an essential element. Am J Clin Nutr 1996;63:791S-6S.



¿Cuánto Cobre es bueno?

- Estudios experimentales buscan conocer cuál es la cantidad ideal de cobre en el ser humano.

Habiendo explicado el importante papel que juega el cobre en el organismo, resulta sorprendente que la información sobre los efectos del cobre en los seres humanos sea tan escasa.

Existe evidencia que sugiere que algunos grupos de la población se beneficiarían si suplementan su dieta con cobre. Sin embargo, no está claro a quienes convendría darles más del metal y cuánto habría que aportarles para que se obtengan los beneficios y al mismo tiempo, estar en los rangos seguros que no agregan riesgo. Esta idea nace de la nueva manera de mirar las cosas en medicina y nutrición.

Tradicionalmente, se esperaba que la persona tuviera molestias, consultara por ellas y entonces se le daba tratamiento para aliviar los síntomas, y para eliminar su causa si era posible. Hoy, en cambio, los mayores conocimientos disponibles permiten tener una mirada diferente.

Se intenta reconocer a las personas que están en riesgo de sufrir una enfermedad, antes de que la desarrollen, de manera de evitar que ocurra o se aminore sustancialmente. De ahí el interés de saber con cuánto cobre se debiera suplementar a aquellos grupos que tienen riesgo de desarrollar problemas que el cobre puede mejorar.

Para hacer el análisis de a quienes y cuánto cobre aportarles se necesitan algunas condiciones:

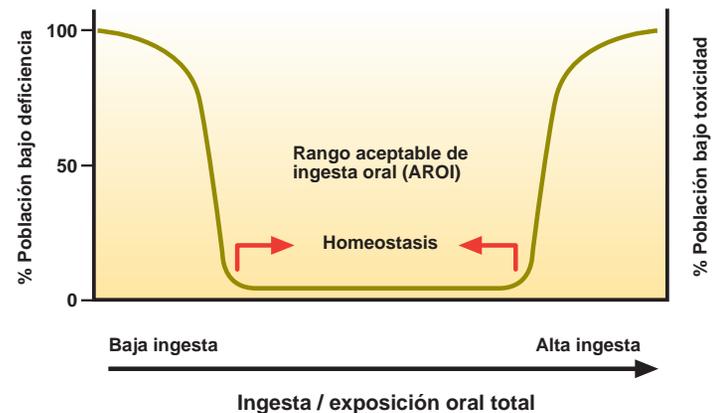
- Conocer a qué dosis del metal comienza a aumentar el número de individuos que presentan efectos adversos, tanto cuando el cobre que se ingiere es muy poco o bien en exceso.
- Definir los efectos significativos más precoces, aquellos que aparecen antes de que haya daño.
- Diferenciar los efectos que aparecen inmediatamente después de consumido el cobre (“**agudos**”) de aquellos que toman un tiempo en aparecer (“**crónicos**”) y por último,
- Contar con exámenes de laboratorio que sean sensibles y específicos y que permitan detectar correctamente dichos efectos tempranos, relevantes para la salud humana.

Revisaremos paso a paso estos temas.

Modelos de evaluación de riesgo

Actualmente existe mucho interés por identificar los usos del cobre en la medicina. Como los estudios disponibles son insuficientes, la manera más frecuentemente utilizada para averiguar cuánto cobre podemos ingerir es aplicando “modelos de evaluación de riesgo”.

El modelo actualmente en uso toma en cuenta la zona en que actúan los mecanismos fisiológicos que permiten adaptarse y manejar cambios en más y en menos, y que anteriormente definimos como homeostasis.



La figura muestra la relación entre la dosis de cobre y sus efectos, o dicho de otra manera, lo que sucede en la población a medida que aumenta o disminuye la ingesta de cobre. En el eje vertical aparece la proporción de la población que manifiesta síntomas relacionados a la cantidad de cobre que ingiere mientras que en el eje horizontal aparece la ingesta a cobre, que es mínima en el extremo izquierdo y aumenta hasta un máximo hacia la derecha.

A menor ingestión de cobre mayor es la proporción de las personas que sufren deficiencia. En la situación teórica de ingesta cero, la totalidad de las personas morirían, porque, ya hemos dicho, el cobre es esencial para mantener la vida. En la situación teórica del extremo derecho, la población moriría por intoxicación por cobre. La zona del centro representa la zona de ingesta segura, en la cual las personas no manifiestan deficiencias ni tampoco efectos dañinos por exceso; es la zona en la que funcionan los sistemas de control que definimos anteriormente como “homeostasis”, en la que la ingesta es adecuada para mantener la salud.

El modelo se hace funcionar con los datos existentes que deriven, hasta donde sea posible, de estudios experimentales. Cuando no hay datos en seres humanos se usan resultados obtenidos en animales y se aplica el “**principio precautorio**”, que consiste en dividir la dosis que probó ser segura en base a los resultados experimentales, por factores de 2, por 5, 10 ó más, dependiendo de la calidad de los datos y la relevancia de los efectos.

Efectos medidos experimentalmente

Aunque medir los efectos del cobre mediante experimentación directa es la manera óptima de definir el problema, los datos disponibles en la literatura científica cubren sólo algunos aspectos.

En seres humanos los estudios son limitados porque es evidente que no se les puede “cargar” con cobre (ni con ningún elemento), en forma controlada y progresiva, para establecer los síntomas adversos que puedan aparecer.

Por esto la única opción posible es estudiar modelos animales. Existe abundante información proveniente de estudios con animales pequeños de laboratorio (por ejemplo las ratas); sin embargo, la manera en que estos animales pequeños manejan el metabolismo del cobre es muy diferente al del ser humano y entonces, en muchas ocasiones los datos provenientes de esos estudios sirven más bien para hacer un juego de escenarios y estimaciones de riesgo, pero no la descripción real y sistemática de los efectos. Por esto es que los monos, primates no humanos, son considerados la mejor opción de estudio.

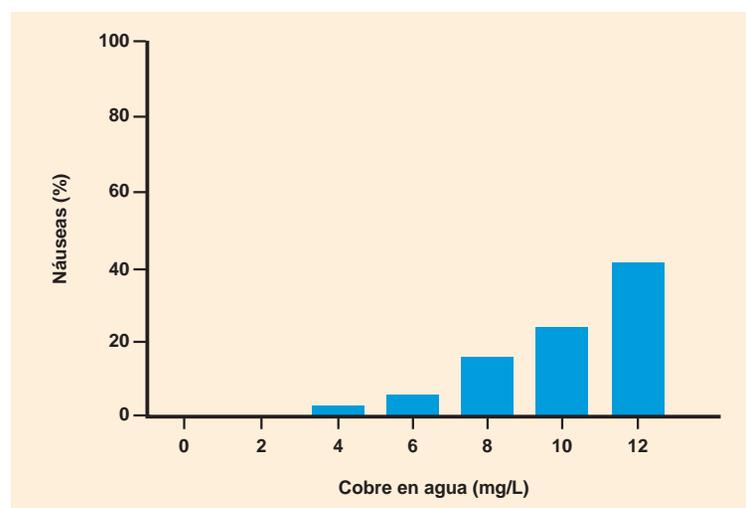
Chile ha cumplido un papel importante en la investigación que busca entender los efectos del cobre en el ser humano. Buena parte de los resultados disponibles se han obtenido en el país y sirvieron de base para que la Organización Mundial de la Salud, OMS, pudiera establecer los límites seguros de la concentración de cobre en el agua de bebida.

Estos estudios distinguen los efectos por exceso de cobre según la exposición al metal (o ingesta) sea aguda o crónica, por lo que los trataremos separadamente de esta manera.

Efectos agudos

Se relacionan principalmente con el consumo de cobre a través del agua. En adultos chilenos y de otros cuatro países, usando variadas calidades de agua y distintos compuestos de cobre se ha visto que cuando el agua contiene 4 miligramos de cobre por litro de agua aparecen los primeros individuos que sienten sensación de asco o náusea; cuando el contenido de cobre aumenta a 10 miligramos por litro en el agua que se bebe, el 30% de las personas sienten náusea.

El gráfico a continuación muestra la proporción de personas que presentan náusea cuando toman agua con distintas cantidades de cobre (como sulfato de cobre), administradas de forma controlada en agua de la llave.



En base a los estudios realizados se estima que cuando el agua que se bebe tuviera 16 miligramos de cobre por litro, todos los individuos sentirían náusea y una proporción de ellos además vomitarían. Estos datos son importantes porque las aguas de bebida a lo largo y ancho del mundo contienen menos de 2 miligramos de cobre por litro, por lo que son seguras para el consumo humano.

La capacidad de sentirle el sabor al cobre

El cobre tiene un sabor metálico y la capacidad de las personas para gustarlo es bastante variable. Para algunos basta que haya un poco de cobre (1 ó 2 miligramos por litro de agua) disuelto en el agua y ya sienten disgusto por el sabor metálico, en cambio, otros gustan el cobre sólo cuando está presente en cantidades mayores (6 a 10 miligramos por litro de agua).

Cuando se hacen experimentos pidiendo a las personas que tomen aguas que contienen cobre en distintas cantidades, se observa que primero perciben el sabor del metal; al aumentar progresivamente la cantidad de cobre aparece la sensación de disgusto y asco, posteriormente náusea y finalmente, algunas personas vomitan.

Por lo tanto, dadas las concentraciones habituales de cobre en las aguas potables, al tomar aguas de las que habitualmente tenemos en casa, no hay riesgo para la salud.

Sin embargo, estos resultados también indican que la creencia tradicional en la que se basaba la normativa histórica que regía el cobre, que su color y sabor metálico nos protegerían de ingerirlo en exceso es un error y abre la posibilidad, a lo menos teórica, que podríamos ingerir cantidades importantes de cobre, de forma crónica, sin percatarnos.

Efectos crónicos

Han consistido en administrar a voluntarios sanos cantidades que están por debajo del “**límite alto seguro**” durante distintos períodos de tiempo. El efecto se ha medido de varias maneras: por cambios en la nutrición de cobre, variaciones de la actividad de alguna de las numerosas enzimas que contienen cobre en su estructura y lo necesitan para funcionar correctamente, cambios en exámenes de laboratorio que miden la función del hígado, y cambios en indicadores que miden el potencial daño por oxidantes en el individuo.

Tomando como punto de referencia los 9-10 mg de cobre por día que define el UL, a hombres y mujeres adultas se les ha administrado 3 y 6 miligramos de cobre al día durante 6 semanas, 6 y 8 miligramos de cobre al día durante 6 meses, 10 miligramos de cobre al día durante dos meses. Todos estos estudios han resultado negativos y no han revelado cambios clínicos ni en los exámenes de sangre que sugieran riesgos para la salud.

Estudios en monos han logrado evaluar dosis mayores de cobre. Por ejemplo, en un estudio el cobre entregado en la dieta diaria fue 4 a 5 veces el límite alto seguro de los humanos, desde el nacimiento hasta los 6 meses de vida. El estudio fue negativo, los animales crecieron normalmente y tuvieron el desarrollo esperado, y tanto sus exámenes de laboratorio como el hígado permanecieron normales. Al cabo de seis meses la absorción de cobre en el intestino disminuyó alrededor de 7 veces, lo que indica una potente capacidad de control por parte del intestino.

En un segundo estudio, que incluyó jóvenes y adultos, los animales recibieron alrededor de 50 veces el límite alto seguro, durante tres años. Tampoco se detectaron efectos dañinos a nivel clínico, exámenes de sangre o en la función del hígado. Estos resultados sugieren que el organismo de los primates tiene una gran capacidad de adaptación, que le permite manejar cantidad elevadas de cobre sin problemas. También recomiendan que en los casos de seres humanos que han sufrido daños a la salud atribuidos a un exceso de cobre, podrían tener características genéticas que los hacen más vulnerables.

Hoy día, los datos experimentales que han estudiado los efectos del consumo prolongado de grandes cantidades de cobre muestran que el organismo tiene potentes mecanismos de defensa que permiten evitar que el exceso de cobre le haga daño a la salud.

Referencias.

- Araya M, Bingchen Ch, Klevay LM, Strain JJ, Johnson LA, Robson P, Shi W, Nielsen F, Shu H, Olivares M, Pizarro F, Haber LT. Confirmation of an acute no-observed-adverse-effect and low-observed-adverse-effect level for copper in bottled drinking water in a multi-site international study. *Regul Toxicol Pharmacol* 2003; 38(3):389-399
- Araya M, Kelleher SL, Arredondo M, Sierralta W, Vial MT, Uauy R, Lonnerdal B. Effects of chronic copper exposure during early life in rhesus monkeys. *Am J Clin Nutr* 2005; 81(5):1065-1071
- Araya M, McGoldrick MC, Klevay L, Stain JJ, Robson P, Nielsen F, Olivares M, Pizarro F, Johnson L, Baker S, Poirier K. Determination of an acute no-observed-adverse-effect-level (NOAEL) for copper in water. *Regul Toxicol Pharmacol* 2001; 34(2):137-145
- Araya M, Olivares M, Pizarro F, Gonzalez M, Speisky H, Uauy R. Gastrointestinal symptoms and blood indicators of copper load in apparently healthy adults undergoing controlled copper exposure. *Am J Clin Nutr* 2003; 77:646-650
- Araya M, Olivares M, Pizarro F, Llanos A, Figueroa G, Uauy R. Community-based randomized double-blind study of gastrointestinal effects and copper exposure in drinking water. *Environ Health Perspect* 2004; 112(10):1068-1073
- Araya M, Olivares M, Pizarro F, Mendez MA, Gonzalez M, Uauy R. Supplementing copper at the upper level of the adult dietary recommended intake induces detectable but transient changes in healthy adults. *J Nutr* 2005; 135:2367-2371
- Mendez MA, Araya M, Olivares M, Pizarro F, Gonzalez M. Sex and ceruloplasmin modulate the response to copper exposure in healthy individuals. *Environ Health Perspect* 2004; 112(17):1654-1657
- Olivares M, Araya M, Pizarro F, Uauy R. Nausea threshold in apparently healthy individuals who drink fluids containing graded concentration of copper. *Regul Toxicol Pharmacol* 2001; 33:271-275
- Organización Mundial de la Salud (OMS). Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Vol. 1: Recomendaciones. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2006. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Pizarro F, Olivares M, Araya M, Gidi V, Uauy R. Gastrointestinal effects associated with soluble and insoluble copper in drinking. *Environ Health Perspect* 2001;109:949-952
- Principles and methods for the assessment of risk from essential trace elements (IPCS). Geneva: World Health Organization; 2002(WHO. Environmental Health Criteria; 228)
- Suazo M, Olivares F, Mendez MA, Pulgar R, Prohaska JR, Arredondo M, Pizarro F, Olivares M, Araya M, Gonzalez M. CCS and SOD1 mRNA are reduced after copper supplementation in peripheral mononuclear cells of individuals with high serum ceruloplasmin concentration. *J Nutr Biochem* 2008; 19(4):269-274
- Zacarias I, Yañez CG, Araya M, Oraka C, Olivares M, Uauy R. Determination of the taste threshold of copper in water. *Chem Senses* 2001; 26:85-89



Exámenes de laboratorio para medir los efectos de la falta o exceso de Cobre en el ser humano

- *Los exámenes para medir efectos del cobre son los aplicados en medicina para hacer diagnósticos, o sea, son útiles en personas ya enfermas.*
- *Actualmente definir nuevos indicadores que permitan medir los efectos tempranos y menos intensos del cobre es uno de los mayores desafíos en investigación.*

Los efectos por deficiencias y excesos intensos de cobre se conocen en la medicina humana porque existen dos enfermedades genéticas que representan estos casos extremos y están ampliamente descritas. La enfermedad de Menkes anteriormente descrita, es el modelo clásico de deficiencia de cobre muy grave. Por su parte, la enfermedad de Wilson es el ejemplo más conocido de los efectos que produce el exceso de cobre debido a la falla de la eliminación por la bilis (ver sección Metabolismo) acumula cobre hasta enfermar y desarrolla cirrosis e insuficiencia hepática.

Ambas condiciones son de origen hereditario y los exámenes de laboratorio disponibles actualmente sirven para hacer sus respectivos diagnósticos.

Actualmente, sin embargo, en la medicina moderna existe otra mirada, que exige no sólo tratar a los enfermos que consultan por sus males sino que busca activamente a las personas en riesgo de enfermar, antes que se produzcan daños en su salud.

Se trata, entonces, de detectar cambios menores del metabolismo. Estos casos se refieren a personas en las que no existen los factores hereditarios mencionados, sino que responden a la cantidad del metal consumido (dieta y agua con poco o mucho cobre); en este caso el problema es mucho más complejo y los exámenes de laboratorio que existen no logran detectar las alteraciones. Es por eso que actualmente existe sumo interés en el mundo en buscar nuevos exámenes.

Los estudios realizados en este sentido han demostrado que en el caso de la deficiencia, la disminución de la actividad de algunas enzimas que contienen cobre son buenos candidatos para detectar deficiencias leves y moderadas.

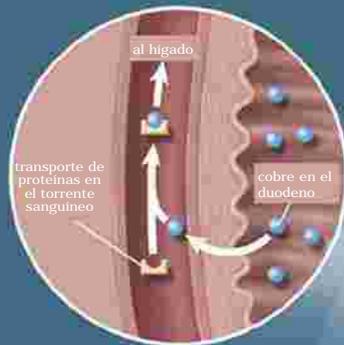
En el lado del exceso de cobre, en cambio, hasta hoy no hay buenos candidatos; es por esto que los estudios recientes se han enfocado en mediciones complejas, que buscan determinar los cambios ocurridos a nivel de algunas células del organismo, capaces de responder ante las modificaciones en el consumo de cobre. Estas actividades están bien encaminadas, pero aún hay mucho trabajo por hacer.

Los exámenes de laboratorio disponibles son útiles para hacer diagnóstico de las enfermedades relacionadas al cobre. Se busca activamente exámenes capaces de medir efectos más precoces, antes de que aparezca la enfermedad; aunque bien encaminados, aún falta trabajo para conseguirlos.

Referencias.

- Araya M, Koletzko B, Uauy R. Copper deficiency and excess in infancy: developing a research agenda. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2003; 37(4):422-429
- Araya M, Olivares M, Pizarro F, Gonzalez M, Speisky H, Uauy R. Copper exposure and potential biomarkers of copper metabolism. *Biometals* 2003; 16(1):199-204
- Arredondo M, Gonzalez M, Olivares M, Pizarro F, Araya M. Ceruloplasmin, an indicator of copper status. *Biol Trace Elem Res* 2008; 123(1-3):261-269
- Danzeisen R, Araya M, Harrison B, Keen C, Solioz M, Thiele D, McArdle HJ. How reliable and robust are current biomarkers for copper status? *Br J Nutr* 2007; 98(4):676-683
- Suazo M, Olivares F, Mendez MA, Pulgar R, Prohaska JR, Arredondo M, Pizarro F, Olivares M, Araya M, Gonzalez M. CCS and SOD1 mRNA are reduced after copper supplementation in peripheral mononuclear cells of individuals with high serum ceruloplasmin concentration. *J Nutr Biochem* 2008; 19(4):269-274
- Uauy R, Maass A, Araya M. Estimating risk from copper excess in human populations. *Am J Clin Nutr* 2008; 88: 867S-871S

El beneficioso rol del cobre en el cuerpo humano



Cobre como el nutriente esencial:

Una vez que el cobre es ingerido, es absorbido en el estómago y en el intestino delgado hasta el torrente sanguíneo. Desde el torrente sanguíneo es transportado por proteínas hasta el hígado, de donde es distribuido a todos los lugares del cuerpo en que se requiere de este elemento.

Los huesos:

El rol vital del cobre en la formación de colágeno es crucial para la formación, salud y reparación de los huesos. El colágeno es el principal factor para la rigidez, fortaleza mecánica y competencia de un hueso. De hecho, los estudios en animales muestran que cuando existe una deficiencia de cobre ocurren fracturas de huesos, anomalías del esqueleto y osteoporosis.



El cerebro:

El cobre es esencial en la formación del cerebro y el sistema nervioso. También cumple una función en la producción de neurotransmisores; los mensajeros químicos que facilitan la comunicación entre células nerviosas y el movimiento de los impulsos nerviosos a lo largo de los nervios.



El corazón y los vasos sanguíneos:

El cobre ayuda a mantener la elasticidad de los vasos sanguíneos, que permite la mantención de una presión arterial adecuada. La aorta - la principal arteria que corre desde el corazón, y la más grande en el cuerpo humano - no puede funcionar completamente si su armazón elástico está debilitado. Como el cobre es necesario para una correcta función y tono muscular, éste también juega un rol vital en el corazón.



La piel:

El cobre juega un rol importante en la formación del colágeno, un tejido conectivo en la piel. Colágeno es la proteína más abundante en la piel humana y es importante en la mantención de una apariencia -lozana, saludable, sin arrugas- en nuestra cara y diversas áreas del cuerpo.



El sistema inmunológico:

El cobre es necesario para la mantención de un sistema inmunológico saludable que proteja al cuerpo de gérmenes y enfermedades. Un fuerte y agresivo contingente de soldados anti gérmenes, que incluyen glóbulos blancos (que devoran el material externo), anticuerpos (moléculas de proteínas), citoquinas (mensajeros químicos), linfocitos B (producen anticuerpos) y linfocitos T (células inmunes), mantienen el cuerpo saludable y libre de enfermedades.

El Cobre en la medicina humana

- *Enfermedades en que hay falta de cobre*
- *Beneficios de la suplementación con cobre*

Existen diversas enfermedades que estarían asociadas a deficiencias menores de cobre; en estos casos la suplementación con el metal sería una estrategia útil para mejorar la salud. En otros casos el papel del cobre no está probado y la utilidad de la suplementación es cuestionable. Es importante distinguir correctamente estas situaciones.

Cobre y “radicales libres”

Normalmente el cuerpo produce sustancias “oxidantes”, llamadas radicales libres, que son capaces de alterar a las células y a moléculas tan importantes como los genes. La producción de éstos es bastante importante en algunas enfermedades, como por ejemplo en las inflamaciones.

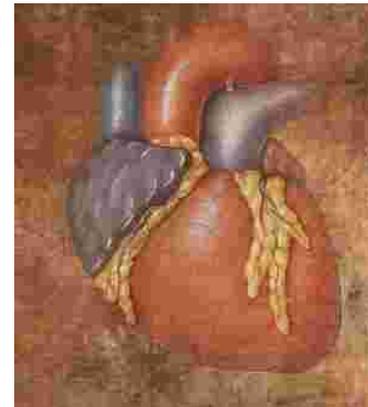
Como dijimos, el cobre forma parte de algunas enzimas. Una de ellas, (superóxido dismutasa), tiene un papel fundamental en la protección contra los llamados radicales libres.

Es interesante saber que, junto con lo dicho, el cobre en exceso tiene la capacidad de promover, por si mismo, la producción de radicales libres. Es por eso que en ciertas condiciones tanto la deficiencia como el exceso de cobre son capaces de producir daño por este mecanismo.

Cobre y salud del corazón

Existen variados factores que aumentan el riesgo de presentar una enfermedad al corazón (infarto) o un accidente cerebral. Los principales son el aumento de la presión arterial (hipertensión), aumento del colesterol LDL (el llamado colesterol malo), aumento de los triglicéridos y disminución del colesterol HDL (colesterol bueno), obesidad, hábito de fumar, aumento del azúcar en la sangre (diabetes mellitus) y sedentarismo (falta de actividad física). Estudios efectuados en animales y en voluntarios han mostrado que el consumo de una dieta pobre en cobre produce un aumento del colesterol dañino y disminución del colesterol “bueno”, aumento del azúcar en la sangre y alteraciones del ritmo del corazón.

El colesterol LDL se deposita en las paredes de las arterias formando placas que producen arteriosclerosis, o sea, estrechan las arterias. Cuando se rompen, favorecen la formación de coágulos en la zona, estrechando aun más el paso de la sangre, lo que produce el infarto (del corazón o cerebro).



La formación de estas placas está aumentada en la diabetes. Por otro lado, pacientes que tienen las mismas alteraciones que las descritas, a veces presentan niveles de cobre aumentados en la sangre. No se sabe si este aumento del cobre representa un factor causal de estas enfermedades o bien es una consecuencia de ellas, ya que en las condiciones antes mencionadas existe frecuentemente inflamación crónica, y el cobre en la sangre aumenta durante la inflamación. El cobre del cuerpo se distribuye de manera distinta y aumenta su concentración en el plasma.

Los estudios de suplementación con cobre a pacientes con hipertensión arterial o con alteraciones del colesterol y triglicéridos han dado resultados contradictorios. Los resultados favorables sólo se observaron cuando los sujetos tenían una carencia de cobre. La hipertensión arterial mantenida lleva a un agrandamiento del corazón por un aumento del músculo cardíaco (cardiomiopatía hipertrófica) y a una falla de la función cardíaca (insuficiencia cardíaca). En ratas, se ha visto que la suplementación con cobre disminuye el tamaño del corazón y disminuye la insuficiencia cardíaca. En humanos aún no hay información suficiente al respecto.

La carencia de cobre afecta la salud del corazón, aumenta el colesterol “malo” y produce hipertensión.

Cobre y reumatismo

Los pacientes reumatismo (osteoartritis o artritis reumatoide), tienen una inflamación crónica que se acompaña, como ya dijimos, de niveles elevados de cobre en el plasma. Se ha pensado que esta respuesta del organismo pudiera tener un efecto beneficioso. Algunos estudios antiguos en animales habían demostrado que la administración de cobre reducía el desarrollo o la severidad del reumatismo.



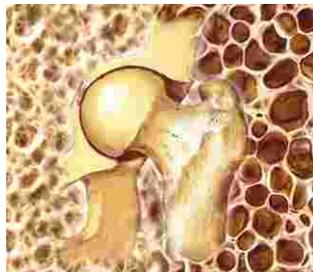
Por otra parte, es corriente el uso de pulseras de cobre o de aleaciones de cobre para disminuir los síntomas reumáticos. Sin embargo, los estudios realizados en seres humanos no han demostrado un efecto beneficioso ni de la suplementación con cobre ni del uso de pulseras con este metal.

Si bien estas últimas pueden liberar una cantidad variable del mineral, dependiendo de la calidad del sudor, la cantidad absorbida por la piel es mínima. Respecto al tratamiento del reumatismo, se ha visto que el salicilato de cobre es más eficaz que el ácido salicílico en disminuir los síntomas de esta enfermedad. Como parte del daño de las articulaciones se produce por la aparición de nuevos vasos sanguíneos en la zona y el cobre es necesario para formarlos, se está utilizando en forma aún experimental la producción de deficiencia de cobre, a través del uso de medicamentos que extraen el cobre del organismo.

Cobre y hueso

La osteoporosis (disminución de la densidad del hueso) es una condición que afecta más a las mujeres y que aumenta su frecuencia progresivamente después de la menopausia. Esta alteración del hueso disminuye su resistencia, por lo que aumenta el riesgo de fracturas. La enzima dependiente de cobre llamada lisiloxidasa es fundamental para la maduración del colágeno y para una normal estructura y depósito de calcio en el hueso. La disminución de densidad y resistencia del hueso se debe principalmente a un menor consumo de calcio y en menor grado a un menor consumo de otros nutrientes, entre ellos vitamina D, cobre y otros minerales.

En las mujeres, después de la menopausia la disminución de la producción de estrógenos (hormona femenina) contribuye a la aparición de osteoporosis. Se ha visto una relación positiva entre niveles de cobre en la sangre y densidad del hueso.



Así, mujeres con osteoporosis o fracturas después de la menopausia tienen niveles más bajos de cobre en el plasma. Se ha visto que mujeres que consumen dietas más ricas en cobre tienen una mayor densidad ósea comparada con aquellas que consumen menos cobre, incluso aunque sus valores de cobre en la sangre puedan ser similares.

La suplementación con cobre reduce la pérdida de densidad ósea en mujeres postmenopáusicas y el resultado es mejor si se asocia a la administración combinada con otros nutrientes como calcio, magnesio y cinc. Este suplemento múltiple es más efectivo que cuando se da sólo suplementación con calcio. Existe un estudio en que se suplementó sólo con cobre y no se observó ningún efecto beneficioso. Se piensa que esto se debió a que las mujeres tenían un consumo de cobre dietario adecuado y no sufrían deficiencia del metal.

Cobre y cáncer

La información existente sugiere que no hay relación entre el consumo de cobre y el cáncer, pero en años recientes el tema se ha puesto nuevamente en el tapete, porque para que un tumor canceroso crezca es necesario que se formen nuevos vasos sanguíneos que le lleven el oxígeno y los nutrientes que necesita.

Como el cobre es necesario para promover la formación de nuevos vasos sanguíneos, se han realizados algunos estudios utilizando medicamentos que extraen el cobre del cuerpo, provocando así una deficiencia del mineral, de modo de que al inhibir el crecimiento de los vasos sanguíneos se frene el crecimiento del tumor canceroso. Los resultados son promisorios en los casos de tumores sólidos y cánceres hematológicos; sin embargo, la información aun no es suficiente para avalar el uso de cobre como una alternativa de terapia para estos enfermos.

En el tratamiento del cáncer, también se ha utilizado la administración de cobre. En un caso se administran nano partículas de cobre (partículas muy pequeñas), cubiertas con algunas proteínas que hagan que éstas sean preferentemente captadas por las células cancerosas.

Después se aplica radiofrecuencia (ondas parecidas a las que producen los aparatos de microondas) y el calor producido destruye las células. En un segundo caso, se ha administrado cobre a los pacientes de modo de aumentar la producción de oxidantes (radicales libres) al interior del tumor y así destruirlo.

La falta de cobre favorece la aparición de diabetes (azúcar en la sangre) y de osteoporosis.

Cobre y cicatrización

El cobre contribuye a una mejor cicatrización debido a su efecto favorecedor de la formación de colágeno maduro y de la formación de nuevos vasos sanguíneos.

En pacientes diabéticos se ha visto que la aplicación de soluciones de cobre en las heridas mejora la cicatrización debido a los factores antes mencionados; un efecto adicional beneficioso es la reducción del riesgo de infección de la herida, por las propiedades antibacterianas del metal.

Dispositivos intrauterinos de cobre

Los dispositivos intrauterinos (DIU) constituyen uno de los métodos anticonceptivos más efectivos. Los DIU en base a cobre ("T" de cobre) impiden el embarazo por los cambios en las condiciones al interior del útero por el cuerpo extraño y por el efecto del cobre liberado. A mayor superficie de la T de cobre mejor efecto anticonceptivo. El cobre liberado no cambia los niveles sanguíneos de cobre de las mujeres. Los DIU de cobre son tan efectivos como los DIU de plástico, recubiertos con hormonas.

El cobre no produce cáncer, pero podría ser útil en su tratamiento.

Referencias

- Alarcón OM, Guerrero Y, Ramírez de Fernández M, D'Jesús I, Burguera M, Burguera JL, Di Bernardo ML. Efecto de la suplementación con cobre sobre los valores de presión arterial en pacientes con hipertensión moderada estable. Arch Latinoam Nutr. 2003;53:271-6.
- Alarcón-Corredor OM, Guerrero Y, Ramírez de Fernández M, D'Jesús I, Burguera M, Burguera JL, Di Bernardo ML, García MY, Alarcón AO. Efecto de la suplementación oral con cobre en el perfil lipídico de pacientes venezolanos hiperlipémicos. Arch Latinoam Nutr. 2004;54:413-8.
- Bo S, Durazzo M, Gambino R, Berutti C, Milanesio N, Caropreso A, Gentile L, Cassader M, Cavallo-Perin P, Pagano G. Associations of dietary and serum copper with inflammation, oxidative stress, and metabolic variables in adults. J Nutr. 2008;138:305-10.
- Borkow G, Gabbay J, Zatcoff R. Could chronic wounds not heal due to too low local copper levels? Med Hypotheses. 2008;70:610-3.
- Brewer GJ. Anticopper therapy against cancer and diseases of inflammation and fibrosis. DDT 2005;10:1103-9.
- Eaton-Evans J, McIlrath EM, Jackson WE, McCartney H, Strain JJ. Copper supplementation and the maintenance of bone mineral density in middle-aged women. J Trace Elem Exp Med 1996;9:87-94.
- Ilich JZ, Kerstetter JE. Nutrition in bone health revisited: A story beyond calcium. J Am Coll Nutr 2000;19:715-37.
- Klevay LM. Cardiovascular disease from copper deficiency--a history. J. Nutr. 2000;130: 489S-92S.
- O'Brien PA, Kulier R, Helmerhorst FM, Usher-Patel M, d'Arcangues C. Copper-containing, framed intrauterine devices for contraception: a systematic review of randomized controlled trials. Contraception. 2008;77:318-27.
- Rao JK, Mihaliak K, Kroenke K, Bradley J, Tierney WM, Weinberger M. Use of complementary therapies for arthritis among patients of rheumatologists. Ann Intern Med. 1999;131:409-416.
- Zhou Z, Johnson WT, Kang YJ. Regression of copper-deficient heart hypertrophy: reduction in the size of hypertrophic cardiomyocytes. J Nutr Biochem. 2008 [Epub ahead of print]



Propiedades Antimicrobianas del Cobre

Guillermo Figueroa Gronemeyer

Actividad antimicrobiana del Cobre

Antecedentes generales

El cobre es un metal que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, cuyo descubrimiento data de alrededor de 5.000 años AC y que ha sido utilizado en diferentes funciones que incluye desde la construcción de utensilios de uso doméstico hasta su uso como conductor eléctrico⁽¹⁾. Sin embargo, son muchos más los roles que cumple este metal en la vida todos los seres vivos, entre los cuales destaca su función como un microelemento o nutriente esencial para realizar funciones básicas de su metabolismo celular.

En el caso de los humanos se puede precisar que el cobre es un elemento requerido en bajas concentraciones que forma parte de varios sistemas enzimáticos, que intervienen en el desarrollo fetal, en el tejido cardíaco, el proceso de osificación del esqueleto, la maduración del sistema nervioso y también en el sistema inmune de todos los seres superiores.

Además, es un componente clave en las proteínas que participan en los procesos de respiración celular y rol antioxidante esencial ayudando a neutralizar los radicales libres que producen daños celulares graves (posee un gran potencial para oxidar algunos grupos químicos de proteínas y/o lípidos celulares).

Normalmente los seres humanos y animales obtienen el cobre que requiere su organismo desde el medio ambiente y de la dieta. El acceso al cobre ambiental es muy limitado por lo que la dieta y el agua son factores fundamentales para cubrir las necesidades mínimas del ser humano. Se estima que diariamente el hombre necesita ingerir no menos de 0.9 miligramos de cobre para cubrir sus requerimientos. La ingesta habitual logra cubrir tales requerimientos gracias a que hay varios alimentos que tienen alta disponibilidad de este microelemento.

Entre ellos se encuentran los mariscos, el pan de grano entero, las pasas, las nueces, el chocolate y varios tipos de carnes. Lo anterior permite concluir que en condiciones fisiológicas y genéticas normales la ingestión de una dieta variada es suficiente para cubrir las necesidades metabólicas del humano sano. El riesgo de toxicidad por niveles elevados de cobre es bajo ya que el organismo dispone de un eficiente sistema de control de la absorción y excreción de cobre por lo que en condiciones normales no se producen riesgos cuando la ingesta es mayor a los requerimientos. A la inversa existen evidencias que determinadas poblaciones tienen niveles bajos de cobre y por ende requieren suplementación especial.

Por sus múltiples propiedades, tales como conductividad, conductividad térmica, resistencia a la tracción y fatiga, resistencia a la corrosión, fácil moldeo, belleza, los usos del cobre son diversos, pero sin duda el transporte del agua potable y de la electricidad son las que revisten mayor relevancia ya que ambas acciones están íntimamente ligadas al desarrollo de la sociedad moderna. La industrialización y el avance de la tecnología incorporó al cobre en múltiples equipos y utensilios, con lo cual su valor fue apreciado por la mayor parte de la sociedad y la aparición de nuevas aleaciones hicieron que su uso se ampliara y se hiciera más multifacético.



El cobre en la historia de la humanidad

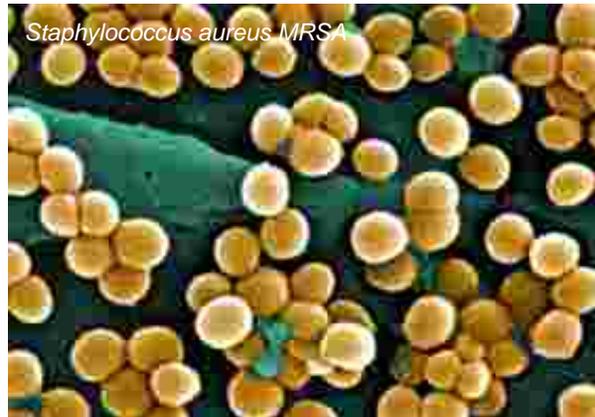
Una de las propiedades o aplicaciones del cobre que está ganando el interés de la comunidad científica en el último tiempo, es su uso como **agente biocida**. Los estudios para explicar y aplicar el uso de este metal como microbicida se han acrecentado significativamente, aunque la potencial capacidad de los iones de cobre, ya sea solos o en complejos de cobre, para eliminar los contaminantes microbianos era conocida y apreciada desde mucho antes por varias civilizaciones, entre ellas, Celtas, Hindúes, Americanos, Japoneses, etc.

Más Información:

1. Cooper Development Association. <http://www.copper.org/>

La historia demuestra que el uso del cobre para aumentar la calidad higiénica data de etapas muy tempranas de la civilización, donde los antecedentes señalan que los egipcios, griegos, romanos y aztecas lo usaron para el tratamiento de aguas para consumo o para curar heridas. En Grecia, el uso de este metal en vasijas y recipientes para acopiar el agua no era casual, por el contrario ya se intuía empíricamente que su uso mejoraba la condición sanitaria del agua.

Más tarde se describe que en muchas casas de la edad dorada romana se sumergía monedas de cobre a las vasijas en las que se almacenaba el agua, evitando así que esta se descompusiera y por consiguiente la aparición de enfermedades. Como sabemos el agua es clave para la salud y el consumo de agua contaminada sigue siendo una fuente de riesgo importante que se asocia a serias infecciones gastrointestinales.



En el siglo XVII también se usó el cobre en la agricultura ya que se observó que al lavar las semillas con soluciones de sulfato de cobre, este elemento tenía una potente acción fungicida, conocimiento que rápidamente fue aplicado para controlar los hongos en los cultivos de trigo. Actualmente muchas plagas de plantas son prevenidas o atacadas con fungicidas y desinfectantes en base a sales de cobre tales como sulfatos, oxiclóruros, etc.

Posteriormente cuando se descubrió que la causa de muchas enfermedades eran las bacterias, virus, hongos y otros, se comenzó también a estudiar las propiedades antimicrobianas del cobre y potencial uso en el tratamiento de diversos cuadros infecciosos. Es así como, hoy su aplicación se ha extendido a diferentes áreas de la salud, como por ejemplo productos para la higiene bucal, antisépticos, higiene de aparatos médicos, pinturas, etc.

La investigación científica hoy disponible ha permitido conocer y en muchos casos dilucidar los mecanismos que explican las múltiples propiedades antimicrobianas del cobre. Es así que disponemos de investigación básica y aplicada sobre su rol antimicrobiano frente a numerosos patógenos, para el hombre y los animales, entre ellos, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Enterica*, *Campylobacter jejuni*, *Staphylococcus aureus MRSA*, *Legionella pneumophila*, *Clostridium difficile*, *Pseudomonas aeruginosa* y otros.

La actividad antiviral del cobre ha sido demostrada asimismo frente al virus HIV-1, el virus de la Influenza aviar y varios otros virus con y sin envoltura. A lo anterior se suma la potente actividad que tiene el cobre sobre muchas especies de hongos, algas y levaduras. Paradojalmente, en la industria actual se usan productos con importantes concentraciones de cobre sin que el ciudadano informado aprecie el rol de la adición de este elemento en varios productos de uso frecuente. Hay dos ejemplos que son interesantes de abordar a manera de ejemplo. Este es el caso de los pesticidas en base a cobre⁽²⁾.

La razón es que al adicionar cobre ellos amplían el rango de letalidad para muchas especies de hongos, en particular algunos hongos filamentosos que causan grandes pérdidas económicas a los productores de frutas y granos.

El segundo caso es el uso de cobre en pinturas⁽³⁾. Hoy se encuentran en uso las pinturas denominadas "anti-fouling",

las que se utilizan para pintar barcos. El biofouling es un proceso que comienza con la adherencia de una capa de microorganismos en la superficie del barco en contacto con el agua de mar.

Tales poblaciones bacterianas se multiplican generando biopelículas (biofilms) de forma tal que se hacen resistentes a los factores deletéreos, tales como las corrientes marinas, el frío u otros sistemas generadores de estrés. Las biopelículas formadas por microorganismos y algunos de sus productos celulares (polisacáridos) sirven luego de base para que se produzca la incrustación de organismos multicelulares (eucarióticos), tales como crustáceos y otros mariscos de cubierta calcárea.

Todo este fenómeno conduce a que la tara (peso) del barco aumente significativamente y en forma proporcional disminuya la eficiencia del desplazamiento del mismo, con el consecuente impacto en el mayor costo del transporte.

Estas dos aplicaciones del cobre como agente capaz de inhibir diferentes poblaciones microbianas se encuentran desde muchos años disponibles y son comercializadas sin que muy poca gente haya reparado el rol esencial que el cobre jugaba en ellas. Tal rol es el de actuar como un eficiente antimicrobiano de amplio espectro, es decir inactiva microorganismos tales como las bacterias, virus y hongos.

Más Información:

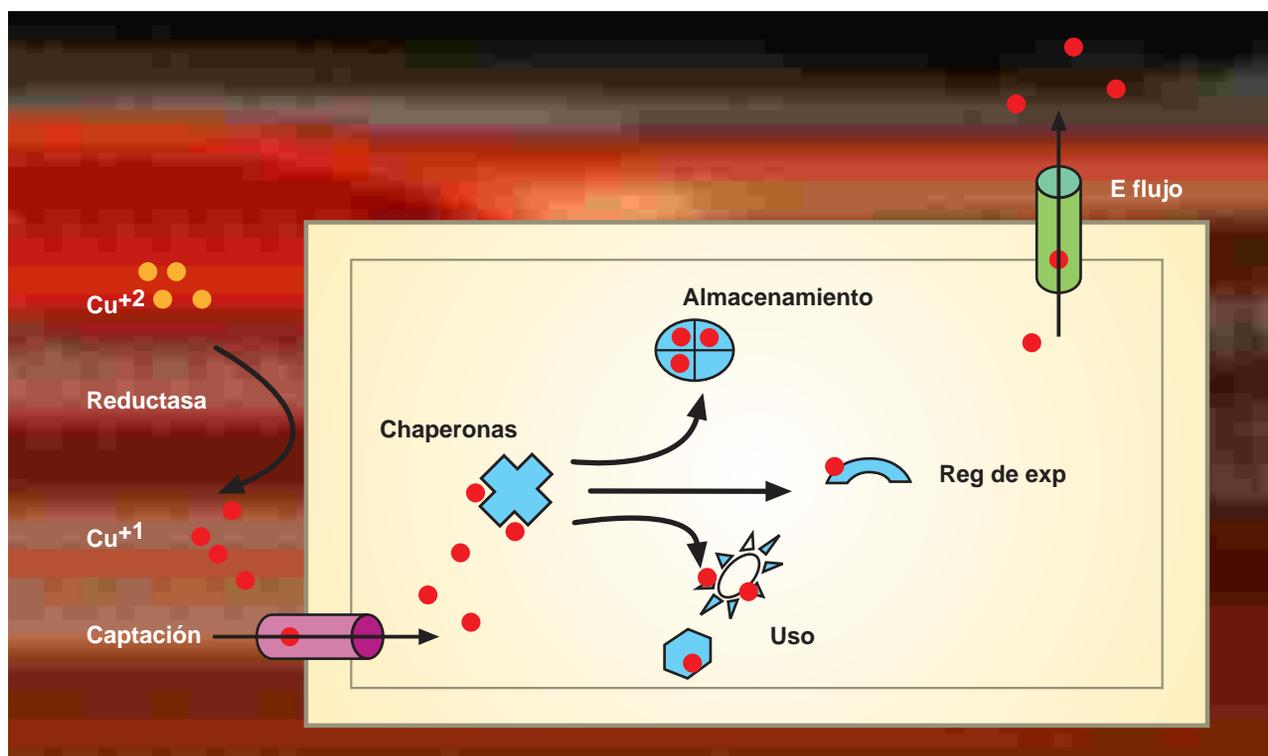
2. Copper Sources and Management Strategies Clearinghouse. http://scvurppp-w2k.com/cu_clearinghouse_web/cu_pest.htm.

3. Cooney T. E. 1995 Infect. Control Hosp. Epidemiol. 16: 444-450.

Los antecedentes mencionados y la eficacia de la actividad antimicrobiana de productos en base a cobre, ha motivado en este último tiempo el desarrollo de varios estudios tendientes a conocer los probables mecanismos envueltos en esta actividad antagónica así como evaluar posibles aplicaciones de este metal.

En la Figura 1 se muestra los mecanismos propuesto para el ingreso y salida del cobre en los microorganismos. A continuación se detalla información específica respecto a distintas aplicaciones de la actividad antimicrobiana de este metal y los patógenos involucrados.

Figura 1. Diagrama esquemático que representa los componentes involucrados en la homeostasis de cobre en microorganismos(4).



Más Información:

4. Reyes Angélica Sofía. 2007. Enterococcus faecalis un modelo para el estudio del manejo y regulación de cobre intracelular. Tesis para optar al grado de Doctor en Nutrición y Alimentos. INTA, Universidad de Chile.



Cobre

y microorganismos: ¿Por qué el cobre tiene propiedades antimicrobianas?

Los mecanismos antimicrobianos del cobre son complejos y pueden actuar a través de varias vías, ya sea dentro de las células microbianas como en los espacios extracelulares. Un factor crítico en la actividad anti microbiana es la capacidad del cobre de donar y aceptar electrones, derivado de su alto potencial de oxidación y reducción. Esta propiedad electroquímica le permite al cobre alterar proteínas dentro de la célula microbiana de tal modo que éstas ya no puedan cumplir sus funciones metabólicas.

Los estudios han demostrado además, que el cobre es responsable de inhibir el transporte de electrones a través de la pared celular entre el medio intracelular y el ambiente, es capaz asimismo de fijarse en el ácido nucleico (DNA) y desordenar la estructura helicoidal de esta molécula.

A través de éstos y otros mecanismos redundantes que hacen que el cobre pueda inhibir e incluso eliminar muchos tipos de microorganismos ya sean bacterias, virus, parásitos u hongos.

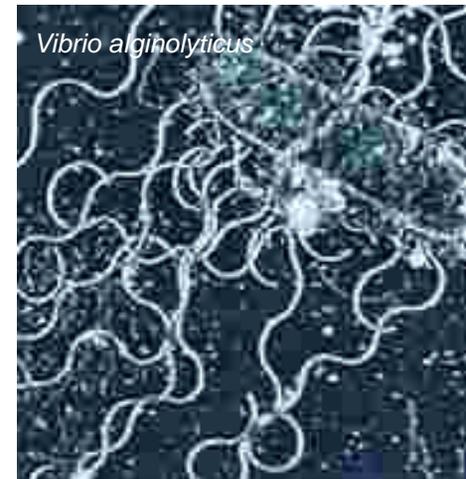
El cobre tiene actividad inhibitoria sobre los microorganismos en función de su concentración. Es por ello que dependiendo del tipo de microorganismo el cobre puede actuar como un agente bacteriostático, inhibiendo su multiplicación, o como una sustancia bactericida, es decir eliminando al microorganismo.

Se estima que la actividad bacteriostática fluctúa en concentraciones tan bajas que van entre 25 a 150uM, dependiendo del tipo de microorganismo y de la presencia o no en este de las denominadas "proteínas ligantes de cobre". Bacterias tales como *Vibrio alginolyticus*, que poseen niveles elevados de dichas proteínas pueden sobrevivir en concentraciones ambientales mayores de cobre en disolución⁽⁵⁾.

Son múltiples los mecanismos que se han propuesto para explicar la actividad antimicrobiana del cobre. A continuación describimos tres de los más importantes:

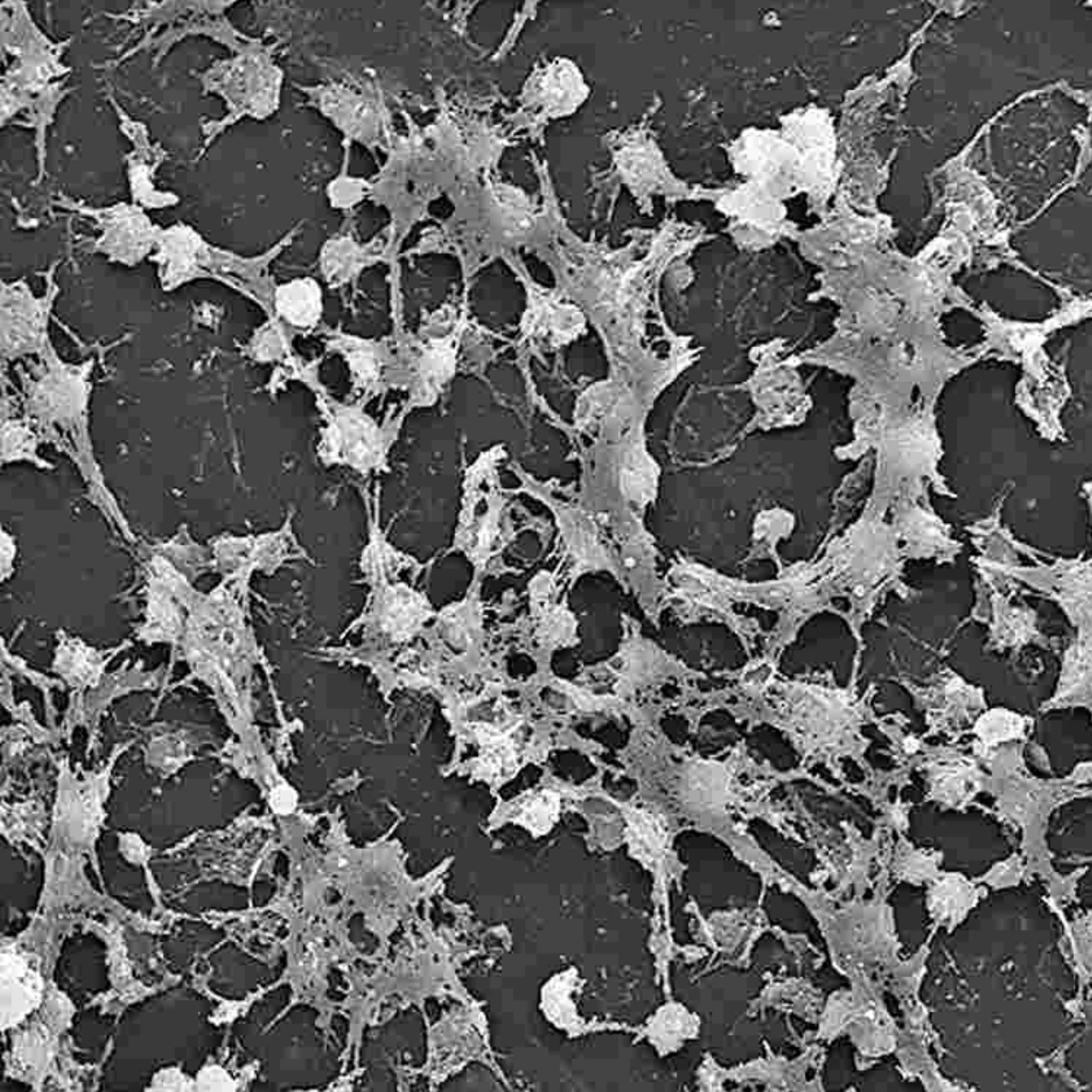
- 1) Un cobre inhibe o altera la síntesis de proteínas, con lo que impide que ella efectúe procesos claves del metabolismo (actividad bacteriostática).
- 2) El cobre puede alterar la permeabilidad de la membrana celular de los microorganismos, causando la peroxidación ya que induce daño oxidativo de los lípidos, que son claves en el intercambio de moléculas del medio intracelular al extracelular y vice-versa (actividad bacteriostática).
- 3) El cobre destruye o altera los ácidos nucleicos (DNA) de bacterias y virus, pero no es mutagénico. Su acción causa que los microorganismos pierden su capacidad de multiplicarse (actividad bactericida).

Cualquiera de estos mecanismos atribuidos al cobre, aisladamente o en conjunto, impiden que los microorganismos desarrollen procesos claves para mantenerse vivos. La resistencia que pueden oponer las bacterias al cobre puede provenir de dos mecanismos, uno es propio del genoma del agente, intrínseca, y otra la otra es transferible (extracromosómica), la primera está asociada con una mutación a genético y es inducible por el sustrato (Cu), la segunda en cambio, se asocia a la presencia de elementos extracromosómicos y por lo tanto se puede transferir de una bacteria dadora a otra receptora⁽⁶⁾.



Más Información:

5. Gordon A. S., Howell L. D. and V. Harwood. Can J. Microbiol 40(5): 408:411 (1994).
6. Williams J. L. et al., 1993, Appl. Environ. Microbiol., 59 (8): 2531-37.



Bacterias y biopelículas: Un serio problema de salud (biofilms)

Las poblaciones bacterianas que se encuentran en medio líquido se denominan formas planctónicas y su comportamiento es muy diferente al que se observa en poblaciones que se adhieren a superficies de contacto (rocas, mesones, canales) ya que en estas pueden generar biopelículas, formaciones multicelulares ricas en polímeros extracelulares, que sirven de protección a la población microbiana que suelen ser muy resistentes a los cambios del ambiente y a otros tipos de estrés.

Las biopelículas incluyen varias especies que aprovechan esta forma de asociación porque en ella encuentran ventajas comparativas. La presencia de biofilms afecta seriamente a la calidad microbiológica de los alimentos⁽⁷⁾ ya que es por esta vía que muchos patógenos pueden resistir y persistir por tiempo indefinido en los planteles de recepción o proceso de alimentos.

La inocuidad de los alimentos es hoy un tema de alta relevancia dado que esta industria ha alcanzado una alta tasa de globalización. Los alimentos que hoy consumimos proceden de lugares muy distantes del planeta y por ende nos vemos enfrentados con patógenos para los cuales nuestro sistema inmune no está necesariamente preparado. Por este motivo la Food and Agriculture Organization FAO, la Organización Mundial de la Salud y la Organización Mundial de Comercio OMC, han preconizado el

uso de nuevos instrumentos para asegurar la inocuidad de los alimentos. El sistema HACCP (Análisis de Peligros y Control de los Puntos Críticos) nació así como un método preventivo que reemplaza al antiguo método de control basado en el análisis del producto final. La filosofía de este sistema es tratar de controlar los peligros de contaminación de los alimentos durante toda la cadena productiva, antes que el alimento salga al mercado.

En su implementación es clave que las empresas cumplan con una serie de pre-requisitos, entre los cuales se cuentan Buenas Prácticas Agrícolas, Buenas Prácticas de Manufactura, Trazabilidad, los Sistemas Operativos de Higiene y otros. La puesta en práctica de estos pre-requisitos debe luchar en todas las empresas de alimentos con el problema de los biofilms, mecanismo por el cual muchos patógenos se establecen en las líneas productivas sin que los sanitizantes habituales puedan eliminarlos. Este es un serio problema para el cual se buscan activamente soluciones efectivas.

El impacto de los biofilms es un reto no sólo para la industria de los alimentos sino también para el ambiente intrahospitalario. Conocido es que en el hospital se encuentran las peores condiciones, ya que por una parte en él se concentran pacientes usualmente muy jóvenes o muy ancianos, mujeres embarazadas, enfermos sometidos a cirugía mayor, o con patologías cancerosas, es decir huéspedes que generalmente tiene muy deprimido su sistema inmune.

El ambiente del hospital concentra además pacientes con diferentes tipos de bacterias, virus y hongos de alta virulencia. A estas condiciones de huéspedes susceptibles y patógenos más virulentos se le agrega el problema ambiental derivado de los biofilms, sistema mediante el cual muchos de los patógenos que afectan a los pacientes sometidos a cirugía o a instrumentación prolongada (cánulas, sondas, etc.) terminan infectados.

Además, en el ambiente del hospital se seleccionan cepas multiresistentes a los antibióticos muy difíciles de erradicar con los procedimientos habituales de sanitización aplicados, lo que contribuye en forma significativa a la diseminación intrahospitalaria de cepas multiresistentes, a menudo asociadas a infecciones muy graves.

En conclusión, la presencia de biofilms bacterianos es una preocupación importante para la industria de alimentos, clínicas y hospitales, ya que aumentan los riesgos para los pacientes. Además de ello hay que sumar el incremento de los costos que significa implementar tratamientos, prolongar los días de estadía en el hospital y las pérdidas productivas que significa mantener personas sin poder acudir a su trabajo.

Más Información:

7. Chmielewski and J.F. Frank, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2003, 2: 22-31.



Cobre, potencial preservante de alimentos



Actualmente los consumidores no sólo se preocupan de la contaminación de alimentos por patógenos, sino que también han enfocado su preocupación en la presencia de contaminantes químicos, por ello están demandando el uso de productos naturales que aseguren su inocuidad.

La industria alimentaria en respuesta a esta demanda está buscando este tipo de preservantes que demuestren gran actividad antibacteriana y aseguren la inocuidad de los productos. Dos de estos aditivos naturales son el ácido láctico y el cobre. La información disponible demuestra que los microorganismos aceptan concentraciones muy bajas de cobre, pero concentraciones altas (250 ppm) causan inhibición de su crecimiento o la muerte. Por lo tanto es de gran interés definir concentraciones altas y letales de cobre para los microorganismos pero no tóxica para el hombre.

En un primer estudio Beal JD, et al.⁽¹⁹⁾ sugirió que la combinación de ácido láctico y cobre podría ser efectiva en el control de microorganismos no deseados. Estos autores agregaron Ac. Láctico (150 mM) y sulfato de cobre (50 ppm) a alimento para cerdos y observaron una disminución de 10 veces en la D value de *Salmonella Typhimurium*.

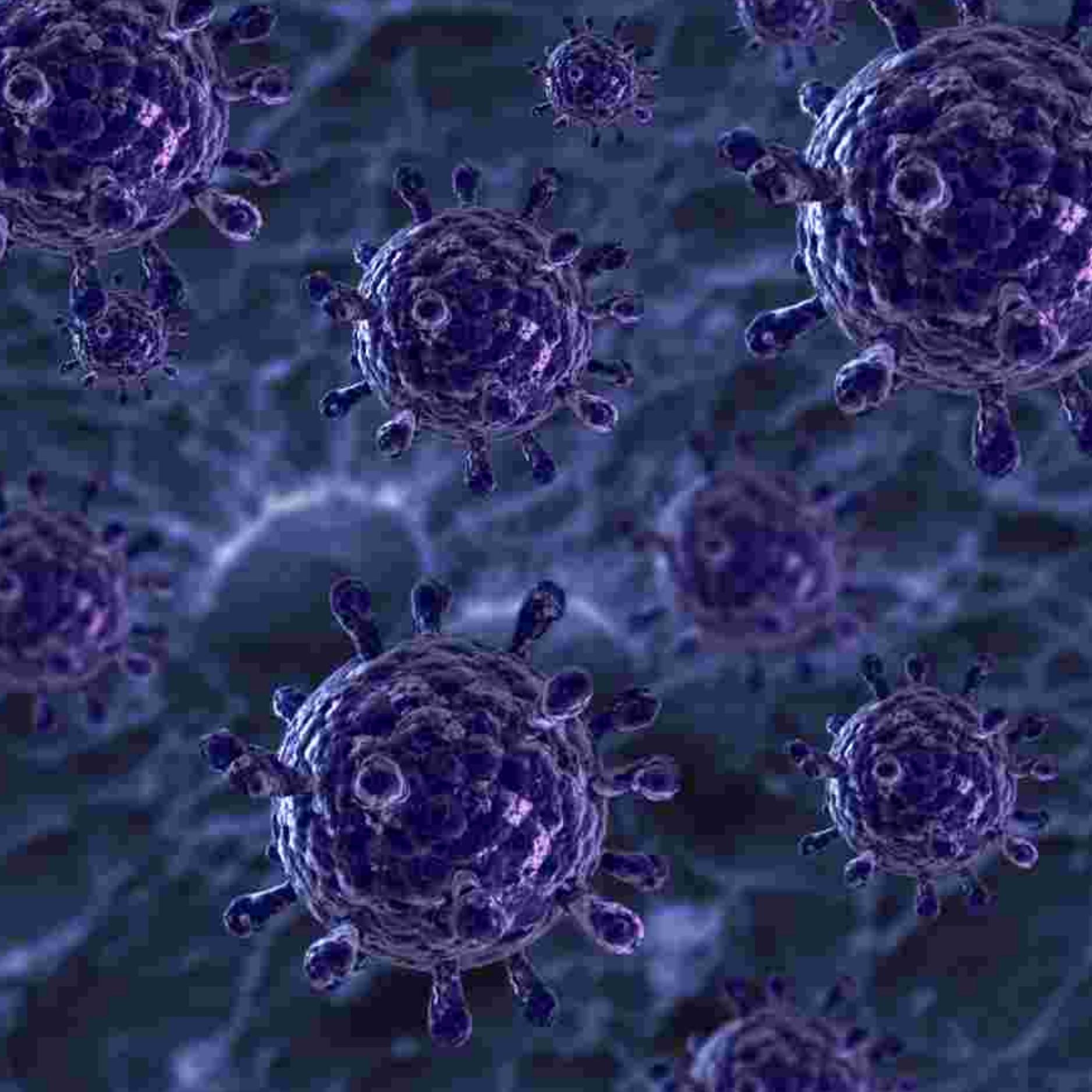
Posteriormente Ibrahim et al.⁽²⁰⁾ en base a este resultado realizaron un estudio destinado a determinar las más bajas concentraciones de cobre y ácido láctico solo y en combinación que inhibían el crecimiento de *Salmonella sp* y *E. coli O157:H7*.

Ellos observaron que en medios de cultivo de laboratorio y jugo de zanahoria, 50 ppm de cobre producía una leve disminución en la multiplicación de ambos patógenos y esta era significativa cuando se aumentaba el cobre a 100 ppm y 200 ppm.

Sin embargo, cuando se evaluó 50 ppm de cobre (concentración inocua para el hombre) en combinación con 0.2% de ácido láctico se observó una inhibición sinérgica, lo que reducía significativamente la multiplicación de ambos patógenos. Este estudio confirmó que el cobre es una excelente alternativa para el control de patógenos en alimentos.

Más Información:

19. Beal JD., Niven SJ., Campbell A., and Brooks PH. (2003). The effect of copper on the death rate of *Salmonella Typhimurium* DT104:30 in food substrates with organic acids. *Letters in Applied Microbiology* 38:8-12
20. Ibrahim SA., Yang H., Seo CW (2008). Antimicrobial activity of lactic acid and copper on growth of *Salmonella* and *E. coli* O157:H7 in laboratory medium and carrot juice. *Food Chemistry* 109:137-143.



El Cobre posee excelentes propiedades antivirales

Efecto antiviral del cobre sobre el virus de la inmunodeficiencia humana

Han pasado ya 25 años desde que se identificó al virus de inmunodeficiencia humana (VIH-1) como el agente causal del síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA). Más de 60 millones de personas en el mundo se han infectado por VIH-1, principalmente en países en desarrollo, y cerca de la mitad han muerto. La obtención de una vacuna efectiva contra este agente sería la mejor solución para controlar la pandemia de SIDA pero desafortunadamente todos los esfuerzos no han resultado tener mucho éxito. La extraordinaria diversidad de este virus, sumado a su capacidad de escapar de las defensas inmunes del humano y la incapacidad de inducir una respuesta de anticuerpos significativa han hecho esto prácticamente imposible hasta la fecha.

Una de las vías importantes de transmisión del HIV-1 es a través de fluidos contaminados, por ejemplo la leche materna y la sangre. Se considera que la vía de diseminación a través lactancia materna representa el 33-50% de los más de 700.000 caso de transmisión madre - hijo de HIV-1 que ocurren anualmente en el mundo.

Respecto a las transfusiones de sangre, la OMS estimó que son 80.000-160.000 los casos que se dan por esa vía cada año a nivel mundial. Se sabe que el cobre posee de una potente capacidad bactericida además de una importante acción virucida sobre los virus. Un estudio efectuado por Sagripanti y col. en 1996⁽²¹⁾ reportó la inactivación del HIV-1 por Cu (II) con una dosis letal 50 muy baja, de entre 0.16-1.6 mM.

Se conocen varios mecanismos por los cuales el Cu puede inactivar el virus entre ellos está la inactivación de una enzima esencial para la replicación del virus⁽²²⁾. También el cobre puede dañar la envoltura fosfolipídica del virión así como su ácido nucleico.

Estos hallazgos junto con el desarrollo de una plataforma tecnológica que ha logrado impregnar el cobre en diversas fibras y materiales poliméricos (plásticos) ha permitido desarrollar recientemente filtros con óxido de cobre capaces de inactivar el HIV-1 presente en los medios de cultivo líquidos, obteniéndose óptimos resultados.

Borkow et al.⁽²³⁾ evaluaron la efectividad de algunos filtros (0-50 mg óxido de cobre) sobre diferentes cepas virales incluyendo aislados clínicos de pacientes en estadios intermedios de la enfermedad (B y C). Los resultados mostraron que había una inactivación viral dependiente sólo de la concentración de cobre, es decir, no estaba relacionada a la cepa viral.

Estos hallazgos son muy interesantes desde el punto de vista de sus proyecciones ya que conforme a ellos, el cobre representa una alternativa importante para la inactivación del HIV-1 en fluidos. Esto permitiría prevenir en una forma bastante accesible, desde el punto de vista económico, la transmisión del virus a través de la leche materna o sangre por ejemplo, hecho que suele ser mucho más frecuente en individuos que habitan países en desarrollo.

Actividad antiviral del cobre sobre el virus de la Influenza Aviar

Los virus de la Influenza Aviar, en cuya familia se incluye la problemática cepa del virus aviar, causan un promedio de 200.000 hospitalizaciones y 36.000 muertes al año sólo en Estados Unidos. El riesgo de contraer influenza aviar es generalmente bajo para la mayoría de las personas, porque normalmente los virus no infectan a los humanos. El virus H5N1 es uno de los pocos virus de influenza aviar que ha atravesado la barrera entre las especies y ha infectado a seres humanos.

Más Información:

21. Karlstrom, A. R., and R. L. Levine. 1991. Copper inhibits the protease from human immunodeficiency virus 1 by both cysteine-dependent and cysteine-independent mechanisms. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 88:5552-5556.
22. Sagripanti, J. L., and M. M. Lightfoote. 1996. Cupric and ferric ions inactivate HIV. AIDS Res. Hum. Retrovir. 12:333-337.
23. Borkow G, Lara HH, Covington CY, Nyamathi A, Gabbay J. 2008. Deactivation of human immunodeficiency virus type 1 in medium by copper oxide-containing filters. Antimicrob Agents Chemother 52(2):518-25.

Además, es el más mortal de todos los que han atravesado la barrera. La mayoría de los casos de contagio de influenza por el virus H5N1 en seres humanos se produjeron por el contacto con aves de corral infectadas (por ej. pollos, patos y pavos domésticos) o con superficies contaminadas con secreciones/excreciones de aves infectadas. Sin embargo, existen otras posibilidades de transmisión, como por ejemplo cuando el virus es aerosolizado y se deposita en superficies expuestas de la boca, nariz y ojos, o entra a los pulmones por inhalación.

Experimentos realizados por el equipo de la Universidad de Southampton⁽²⁴⁾ demostraron que el cobre inactiva al virus de la Influenza A en humanos, y sugieren que también la gripe aviar, dado que estos dos virus son muy similares. Los investigadores pusieron 2 millones de unidades de placas en formación de Influenza A (H1N1) en cupones de cobre C11000 (hojas de metal de cobre puro, común) y en S30400 (acero inoxidable común) a temperatura ambiente y volvieron periódicamente para supervisar las tasas de supervivencia de las muestras. En el acero inoxidable, el patógeno disminuyó a un millón después de seis horas y a 500.000 después de 24 horas (Figura 1).

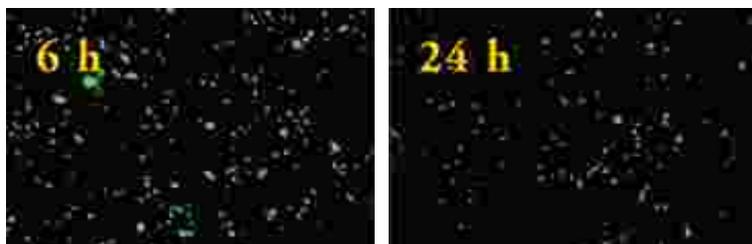


Figura 1. Efecto en la infectividad del virus Influenza A después de la exposición a acero inoxidable por 6 h y 24 h.

En cambio, la superficie de cobre alcanzó una reducción de 500.000 después de sólo una hora y fueron inactivados en su totalidad excepto 500, lo que implicó una reducción de 99.99% después de sólo seis horas (Figura 2).

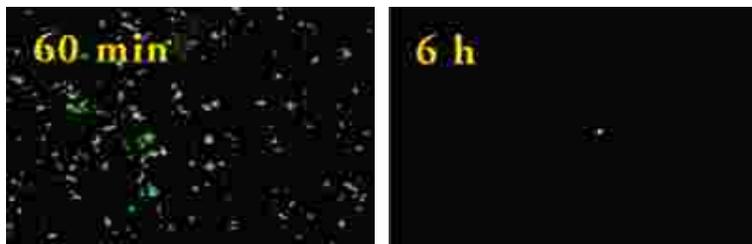


Figura 2. Efecto en la infectividad del virus Influenza A después de la exposición a superficie de cobre por 60 min y 6 h.

La cepa H1N1 testeada es casi idéntica a la cepa H5N1 (Influenza Aviar), por lo tanto, la efectividad de las propiedades antimicrobianas del cobre deberían ser casi iguales. Científicos sugieren que sería conveniente considerar el uso de cobre en superficies comunes de contacto⁽²⁵⁾, tales como manillas, pasamanos, lavatorios, entre otras, para evitar la contaminación cruzada. Los servicios públicos de salud son candidatos de primera línea para usar aleaciones de cobre en sus superficies de contacto y así ayudar a controlar la diseminación de las partículas virales en el ambiente.

Nuevos usos del cobre en ropas y la industria textil

Una de las últimas aplicaciones de la actividad antimicrobiana del cobre es el desarrollo de una plataforma que aplica el cobre a varias fibras textiles, así como el látex y otros productos en base a polímeros. Varios estudios han demostrado que las fibras textiles impregnadas con óxidos de cobre poseen un amplio espectro antibacteriano, antifúngico y antiviral. Las aplicaciones prácticas y el impacto del uso de dichos productos en variadas aplicaciones destinadas a mejorar la salud pública están en pleno desarrollo en muchos lugares del mundo.



En el estudio realizado por Gadi Borkow y Jeffrey Gabbay⁽²⁶⁾ de Cupron, se probó la efectividad de la acción antimicrobiana de ropas impregnadas con óxido de cobre frente a dos patógenos frecuentes del hombre, uno el *Staphylococcus aureus*, 30% de los humanos son portadores de esta bacteria, y otro la *Escherichia coli*, frecuente colonizador del intestino del hombre y los animales. Los resultados mostraron que las prendas con cobre reducen significativamente la presencia de estos agentes patógenos a las dos horas de contacto (Figura A). En otro experimento se probó además que los textiles resistían más de 35 lavados a 85°C en máquinas industriales con jabón, sales y abrasivos.

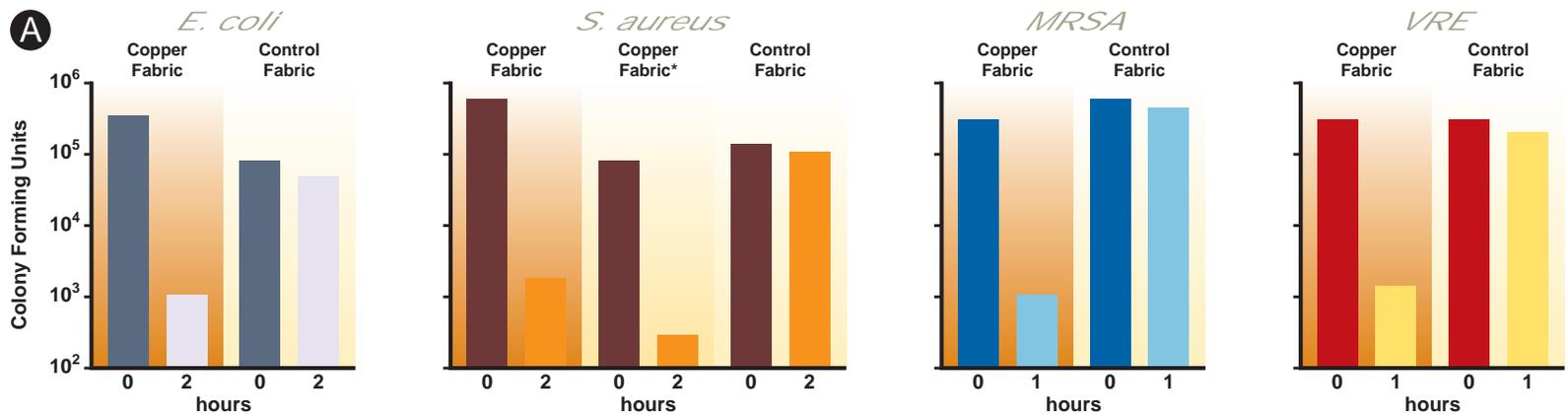


Más Información:

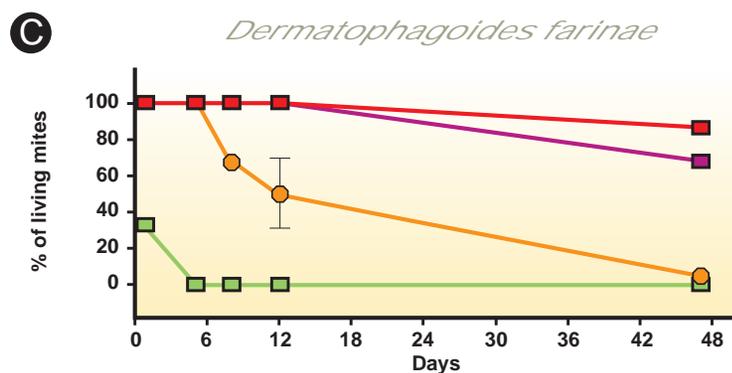
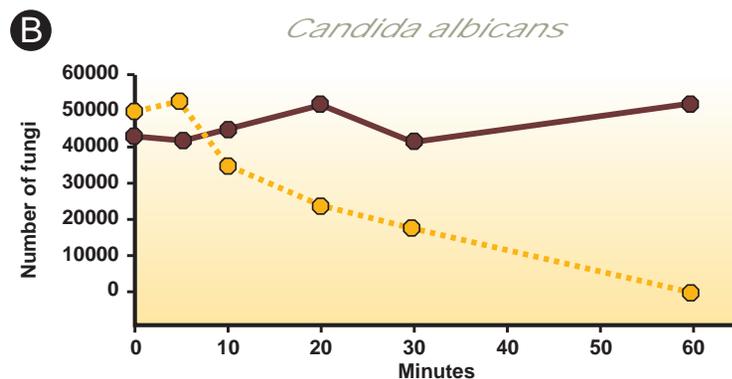
24. J. O. Noyce, H. Michels, and C. W. Keevil. 2007. Inactivation of influenza A virus on copper versus stainless steel surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 73, No. 8, p. 2748–2750.

25. Avian Influenza viruses: <http://www.pandemicflu.gov/>

26. Gadi Borkow and Jeffrey Gabbay, Sept. 2004. Putting copper into action: copper-impregnated products with potent biocidal activities. *The FASEB Journal express*.



Otros experimentos mostraron que textiles tratados con óxido de cobre poseían una capacidad inhibitoria similar para hongos. Se probó *Candida albicans* y *Dermatophagoides faringae*, hongos que actúan como patógenos oportunista en infecciones y alergias en humanos respectivamente (Figura B y C).



En estos casos los autores observaron que el óxido de cobre producía la inhibición completa de los hongos, luego de sólo 60 minutos que estos fueran expuestos a la ropa impregnada en cobre.

Los autores concluyen que al usar las propiedades antibacterianas se generan al menos dos plataformas tecnológicas, la primera en base a fibras de algodón impregnadas con óxidos de cobre y la segunda en base a otras fibras sintéticas, tales como poliéster, polipropileno, polietileno, poliuretano, o nylon, que también se pueden impregnar con óxido de cobre.

Según esos autores ambas tecnologías confieren a las fibras un potente efecto, de amplio espectro, capaz de eliminar bacterias, virus, hongos y frecuentes agentes alérgicos.

Otra característica importante de estos productos textiles impregnados con cobre es que para su introducción al mercado no se requieren alteraciones tecnológicas en los procedimientos productivos o el empleo de maquinarias extras, ventaja muy valorada en momentos en que la economía requiere reactivación sin mayores inversiones.



El cobre es un potente agente fungicida, alguicida y herbicida

La importancia histórica de los pesticidas que contienen cobre se inicia cuando en Francia accidentalmente se descubrieron las propiedades fungicidas de la “mezcla de Burdeos”, una composición químicamente indefinida de sulfato de cobre y cal hidratada. Ésta, al ser aplicada a uvas de huertos de la región, se observó que el hongo veloso desaparecía de las plantas tratadas.

A partir de este acontecimiento se originó la comercialización de fungicidas. Hoy, todavía es vendida comercialmente la mezcla de Burdeos, y hay aproximadamente 15 ingredientes activos certificados que contienen alguna forma de cobre. Como las formas inorgánicas de cobre son relativamente insolubles en agua, ellos no se lavan fácilmente del follaje, proporcionando así una protección más larga contra enfermedades que muchos otros compuestos.

Sin embargo, hay algún interés en cuanto a la acumulación de cobre en suelos agrícolas. Ciertas áreas cítricas que han sido tratadas durante muchos años con cobre fijo han experimentado problemas de toxicidad. Con su amplia gama de empleos, los compuestos de cobre forman uno de los grupos más útiles para ser usado como pesticida.

Ellos son usados en ambientes de casas e industriales, para el control de algas en varios cuerpos de agua que incluyen piscinas de patio trasero, a cascos de barco para resistirse a organismos de agua dulce y marino, para el control de algas acuáticas, para tratamientos preservativos de la madera, y para el control de muchos hongos y enfermedades bacterianas en frutas, verduras, y cosechas.



Tabla 1. Resumen de los empleos de productos que contienen compuestos de cobre como ingrediente activo.

Pesticidas en base cobre	Patrón de uso
Cobre (metálico)	Alguicida – pintura antivegetativa
Cobre (metálico en forma de quelatos de citrato de cobre y gluconato de cobre)	Alguicida, bactericida, fungicida
Carbonato de cobre	Alguicida, herbicida, preservante de madera
Complejos de etanolamina de cobre	Alguicida, preservante de madera
Complejo etilenediamina de cobre	Herbicida
Hidróxido de cobre	Pintura antivegetativa, bactericida, fungicida, regulador del crecimiento de plantas, preservante de madera
Naftenato de cobre	Preservante de madera
Oxicloruro de cobre	Alguicida, bactericida, fungicida
Sales de cobre de ácidos graso y resina	Bactericida, fungicida
Sulfato de cobre	Alguicida, bactericida, deshidratante, fungicida, herbicida
Complejos trietanolamina de cobre	Alguicida
Óxido de cobre	Alguicida, pintura antivegetativa, preservante madera

El Cobre es aprobado como potente agente antimicrobiano

El cobre fue registrado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos como un potente agente antimicrobiano

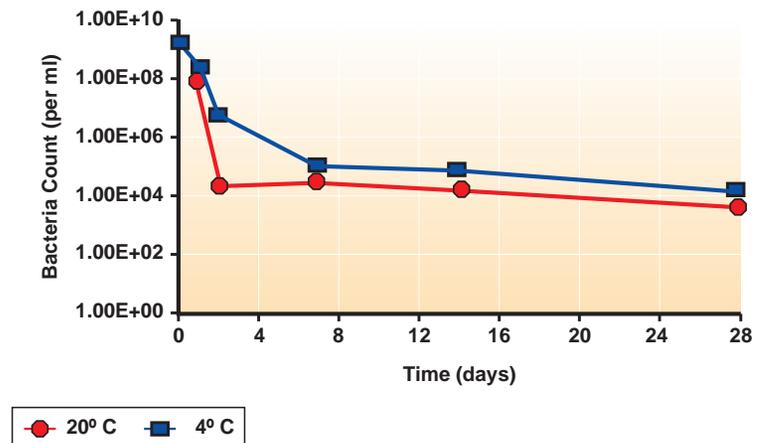
Luego de un proceso de más de tres años de estudio con protocolos muy exigentes, el 25 de marzo del 2008 la Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), emitió un informe en el que aprobó el empleo de cobre con la finalidad de eliminar riesgos microbiológicos en el ambiente intrahospitalario. Dicho informe autorizó el uso de una serie de frases que resaltan las propiedades sanitarias del cobre (health claims). Entre ellas debemos destacar:



1. Las superficies de cobre eliminan a 99.9% de los patógenos bacterianos alrededor de dos horas de exposición.
2. Las superficies de cobre son efectivas para eliminar al 99.9% de los patógenos bacterianos alrededor de 24 horas de exposición.
3. Las superficies de cobre permanecen efectivas para eliminar al 99.9% de los patógenos bacterianos dentro de dos horas de exposición aún después de repetidos episodios de humedecimiento y secado abrasiones y recontaminación.
4. Las superficies de cobre mantienen su actividad antibacteriana alcanzando el 99.9% de eliminación a las dos horas de exposición.

5. Las superficies de cobre impiden la multiplicación bacteriana entre las rutinas de limpieza y sanitización del ambiente.
6. Las superficies de cobre continúan eliminando a más del 99.9% de las bacterias antes de dos horas, después de repetidas contaminaciones en el período de 24 horas.

E. coli Vability on an Alloy S30400 Surface



Las conclusiones del estudio realizado por la EPA pueden resumirse en lo siguiente:

Las aleaciones de cobre son:

- a) Antimicrobianos naturales.
- b) Poseen eficacia antimicrobiana de larga vida y durabilidad:
 - a. Son sólidos y homogéneos. Las propiedades antibacterianas no se eliminan o acaban.
 - b. Son superiores que otros revestimientos o superficies disponibles en el mercado.
- c) Las superficies en base a aleaciones de cobre son las únicas que:
 - a. Se basan en un material auto sanitizante autorizado por la EPA para proteger a los seres humanos.
 - b. Pueden manipularse y en su mercadeo/propaganda incluir su propiedad antibacteriana.

El hecho que la EPA aprobara el uso de superficies de cobre en el ambiente hospitalario tiene gran importancia ya que las infecciones intrahospitalarias son un problema relevante de salud pública.

En el caso del Centro de Control de enfermedades Infecciosas (CDC) en Estados Unidos se estima que se producen dos millones de casos, de los cuales por lo menos 100.000 mueren anualmente.



El uso de aleaciones de cobre para las superficies que se tocan frecuentemente, como suplementos de las ya existentes y aprobadas por el CDC, tiene implicancias muy importantes. El uso de aleaciones de cobre para las superficies que se tocan frecuentemente, como suplementos de las ya existentes y aprobadas por el CDC, tiene implicancias muy importantes. Entre los usos potenciales se puede nombrar sistemas de desinfección y lavado de manos, manillas de puertas y mueblería diversa, rieles para camas, bandejas para punciones intravenosas, dispensadores de líquidos, llaves de agua, estaciones de trabajo y acondicionadores de aire, todas ellas pueden ayudar a reducir significativamente el número de casos de infecciones intrahospitalarias asociados a bacterias patógenas que existen en las salas de los pacientes internados.

El cobre, a diferencia de otros materiales tiene y mantiene propiedades microbicidas por lo que pueden ofrecer protección antibacteriana de largo plazo. Estudios en curso en hospitales de Chile y Estados Unidos están poniendo en práctica el uso de diversos implementos de cobre en un estudio controlado para verificar la frecuencia de las infecciones intrahospitalaria comparando los resultados con los provenientes de otras instalaciones en donde el cobre no se emplea aún con este fin.

El rol del cobre para controlar las infecciones intrahospitalarias

Las enfermedades intrahospitalarias constituyen un problema bastante serio que se presenta con frecuencia en los ambientes hospitalarios de todo el mundo elevando los costos y la mortalidad de los pacientes. Los responsables son patógenos o microorganismos comensales que provienen de los pacientes, visitas o el personal médico y afectan principalmente las Unidades de Cuidados Intensivos, salas de bebés y salas de postoperatorio de cirugía donde se encuentran normalmente pacientes inmunodeprimidos. La lucha contra este tipo de infecciones ha implicado un aumento de cepas resistentes a los antibióticos y la utilización de nuevos o fármacos de más amplio espectro.

La EPA declaró al cobre como un antimicrobiano capaz de eliminar las infecciones intrahospitalarias por *Staphylococcus aureus* (SARM)

Staphylococcus aureus meticilina-resistentes (SARM) es un patógeno que ha emergido en las últimas cuatro décadas como causa importante de infecciones intrahospitalarias y representa

un importante problema clínico y de salud pública debido a que no responde o es resistente a la mayoría de los tratamientos disponibles.

El SARM afecta con más frecuencia a pacientes que han sido sometidos a intervenciones médicas invasivas o que tienen sistemas inmunitarios debilitados y reciben tratamiento en hospitales o instalaciones de atención médica, como los asilos de ancianos y los centros de diálisis, causando infecciones muy graves y potencialmente mortales. Los estudios han sugerido que la principal fuente de infección son los mismos pacientes y que su propagación es por el contacto entre las manos de las personas.

Estudios realizados por Mehtar et al.⁽⁹⁾, mostraron poca o nula inhibición de cepas de SARM cuando ella fue expuesta a diferentes aleaciones de cobre a 4° C, sin embargo a temperatura ambiente se observó inhibición a los 270 min. de exposición tanto en superficies de cobre puro como en otra con aleación de cobre y latón.

El cobre puede detener a *Pseudomonas aeruginosa* causante de infecciones intrahospitalarias

Pseudomonas aeruginosa es una bacteria aeróbica ampliamente distribuida en la naturaleza: flores, frutas, suelo etc. Es un patógeno oportunista en humanos y también en plantas, y es capaz de utilizar una enorme variedad de compuestos orgánicos como sustrato para su multiplicación, capacidad que le permite colonizar nichos con escasos nutrientes logrando aislarse ambientes muy inhóspitos.



Más Información:

9. Mehtar S., Wiid I., Todorov S.V. The antimicrobial activity of copper and copper alloys against nosocomial pathogens and Mycobacterium tuberculosis isolated from healthcare facilities in the Western Cape: an in-vitro study. Journal of Hospital Infection, 2008, 68:45-51.
10. Zambrano A., Herrera N. 2004. Susceptibilidad antimicrobiana de cepas de Pseudomonas aeruginosa aisladas en el laboratorio del Hospital Regional Dr. Leonardo Guzmán de Antofagasta, Chile. Rev Chil Infect; 21 (2): 117-124.
11. Nikaido, H., H. Okusu, D. Ma, & X.-Z. Li 1996. Multidrug efflux pumps make a major contribution to drug resistance in Pseudomonads. In: Molecular biology of Pseudomonads. T. Nakazawa, K. Furukawa, D. Haas and S. Silver (eds.) ASM Washington DC, pp 353-362.

Esta bacteria representa un problema importante de salud en centros hospitalarios, especialmente cuando se trata de pacientes inmunocomprometidos. En Chile es el microorganismo más frecuentemente aislado en neumonías intrahospitalarias asociadas a ventilación mecánica en las UCIs pediátricas, 30,6%, y el tercero en unidades de cuidados intensivos de adultos, donde representa 18,5% de los casos.

Es también un importante agente causal de infecciones del tracto urinario en servicios quirúrgicos, de medicina interna y en UCIs(10). Esta situación se ve agravada por la dificultad para tratar las infecciones por este agente, ya que presenta una muy alta resistencia natural a distintos antibióticos y a desinfectantes(11) y posee la capacidad de formar biopelículas o en ambientes acuosos. Los biofilms o biopelículas son comunidades complejas de microorganismos recubiertas de un polímero extracelular que les ayuda a retener nutrientes y protegerse de agentes tóxicos.



Por lo tanto es muy resistente y puede significar un reservorio de microorganismos, involucrarse en contaminación cruzada y obstruir los conductos para entregar líquidos en distintos dispositivos (catéteres o válvulas). Las biopelículas también representan un problema en el proceso de producción de diversas industrias pues provocan taponamiento y corrosión de conexiones y filtros.

Se sabe que el cobre posee acción antibacteriana por lo que recientemente se evaluó el efecto bactericida de distintos iones metálicos sobre *P. aeruginosa*, observándose que la aplicación de Cu^{2+} en combinación con compuestos de desinfectantes (amonio cuaternario) aumentaron su acción sobre los biofilms no sólo de *P. aeruginosa* sino también sobre biofilms de *P. fluorescens*, *E. coli*, *S. aureus* y *S. enterica serovar Cholerasuis*(12).

Se sugiere que ambos agentes reducen la actividad de enzimas que juegan un rol importante en el crecimiento del biofilm, sin embargo se cree que lo realizarían por vías bioquímicas independientes(12).

Estos hallazgos destacan la capacidad del Cu^{2+} de potenciar la acción biocida de cationes de amonio cuaternario para erradicar biofilms formados de *P. aeruginosa*, lo que puede tener un impacto muy importante tanto a nivel de salud pública así como en la industria de alimentos donde los biofilms por este agente constituyen un problema persistente.

El cobre puede evitar multiplicación de bacterias que causan la colitis pseudomembranosa (*Clostridium difficile*)

Clostridium difficile es una de las principales causa del la colitis pseudomembranosa, cuadro que se desarrolla secundariamente al uso prolongado de antibióticos. Este patógeno es frecuentemente identificado en los ambientes hospitalarios, dado que la alta cantidad de formas vegetativas y esporas de pacientes infectados contaminan las superficies y sirven de potenciales reservorios de infección. Las esporas de *Cl. difficile* persisten por meses en el ambiente y son resistentes a la mayoría de los desinfectantes usados. Recientemente Weaver et al.(13) observó una reducción de >5 log de esporas durmientes de *Cl. difficile* después de exponerlas en 24 -48 horas a cobre puro, indicando que el cobre es efectivo para eliminarlas pero se requería un largo tiempo de exposición.

Posteriormente Wheeldon LJ., et al.(14) realizaron un estudio en que evaluaron el valor de la actividad antimicrobiana de superficies de cobre pero dentro de tiempos más reales. Ellos determinaron la eficacia de estas superficies contra formas resistentes a la temperatura (esporas) de *Cl. difficile* por sobre un período de 3 horas en presencia y ausencia de materia orgánica. Las formas vegetativas fueron eliminadas a los 30 minutos y redujo significativamente la viabilidad de las esporas expuestas a sales biliares (esporas germinativas) en condiciones aeróbicas a los 60 minutos de exposición, la que aumentaba aún más a las 3 horas (99.8% de reducción). La presencia materia orgánica no interfería con la eficacia de esta actividad. En este estudio las superficies de acero inoxidable no demostraron ninguna actividad. Los autores concluyen que el uso de superficies de cobre o su uso en soluciones en el ambiente hospitalario son una muy buena alternativa para controlar a *Cl. difficile* y reducir las diarreas asociadas a este agente.



Más Información:

12. Harrison JJ, Turner RJ, Joo DA, Stan MA, Chan CS, Allan ND, Vrionis HA, Olson ME, Ceri H. 2008. Copper and quaternary ammonium cations exert synergistic bactericidal and antibiofilm activity against Pseudomonas aeruginosa. Antimicrob Agents Chemother.; 52(8):2870-81.
13. Weaver L., Michels HT., Keevil CW. Survival of Clostridium difficile on copper and steel : future options for hospital hygiene . J Hosp Infect 2008, 68: 145-151.
14. Wheeldon LJ., Worthington T., Lambert PA., Hilton AC., Lowden CJ., Elliott TSJ. Antimicrobial efficacy of copper surfaces against spores and vegetative cells of Clostridium difficile: the germination theory. J Antimicrobial Chem. 2008, 52: 522-525.



El Cobre, elemento clave para descontaminar en la industria de los alimentos

El cobre contribuye a evitar la contaminación de los alimentos cárnicos con la bacteria causante de la colitis hemorrágica (*Escherichia coli* O157:H7)

La *Escherichia coli* es un componente normal de la flora intestinal del hombre y los animales, no obstante existen algunas especies que son capaces de causar enfermedades.

Las diarreas son una de las enfermedades frecuentemente ocasionadas por *E. coli*, pero no son la única patología que ellas pueden causar. Existen variedades que contaminan el agua y los alimentos y generan cuadros de diarrea acuosa (EPEC, ETEC), diarrea disintérica (EIEC), diarrea hemorrágica (EHEC), diarrea crónica (EAEC) y otras. Todos estos cuadros infecciosos tienen en común su origen alimentario, es decir se contraen por consumo de alimentos contaminados.



Uno de los casos más serios y recientes son los casos SHU que suelen aparecer después de una infección por *E. coli* O157:H7 que inicialmente causa una colitis enterohemorrágica. Se sabe que este agente se encuentra en el intestino de muchos animales, especialmente bovinos y puede contaminar su carne, en particular la carne molida con que se preparan las hamburguesas.

Muchos estudios han demostrado que las cepas más virulentas de *E. coli* enterohemorrágico pueden mantenerse en las plantas de procesamiento y por la vía de la contaminación cruzada llegar a variados alimentos. Es así como se han producido brotes por consumo de frutas y hortalizas que han recibido agua de riego contaminada.

Un trabajo reciente de Noyce et al.⁽¹⁵⁾, se abocó a evaluar la viabilidad de *E. coli* O157 frente a siete aleaciones de entre 61 y 95% de cobre. Se estudió la sobrevivencia de este agente en superficies de cobre y la comparó con la obtenida en acero inoxidable. Las muestras consistieron en carne molida contaminada con y sin jugo de carne a 22°C y 4°C por 6 horas. Los recuentos en placas de cultivo así como los realizados por microscopía mostraron que hubo tres aleaciones que eliminaron completamente los inóculos bacterianos cuando ellos se mantenían a 22°C por 6 horas. Lo mismo sucedió con el 85% de las bacterias nocivas cuando se usó las aleaciones de cobre más elevadas a 4°C.

El estudio reveló además que cuando el número de bacterias al inicio del experimento era más bajo 10^3 todas las aleaciones de cobre eran muy activas y eliminaban la contaminación totalmente. Los autores concluyeron que las propiedades antibacterianas de las superficies de fabricadas con varias aleaciones de cobre podían constituirse en una valiosa herramienta para contribuir a la inocuidad alimentaria frente a la *E. coli* O157.

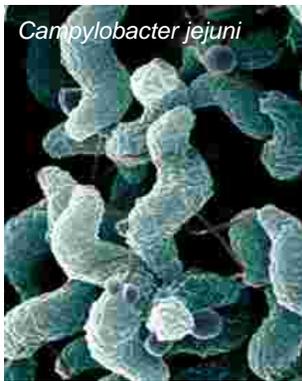
El cobre contribuye a reducir la contaminación con *Salmonella* Entérica y *Campylobacter jejuni* en la carne de ave

La potente actividad antimicrobiana del cobre contra *C. jejuni* y *Salmonella* entérica fue demostrada en un estudio llevado a cabo en el Laboratorio de Microbiología y Probióticos del Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos, en la Universidad de Chile⁽¹⁶⁾. Los resultados mostraron que las superficies de cobre protegían a la carne de ave frente a la contaminación con dos de los más prevalentes patógenos, *Salmonella* Entérica y *Campylobacter jejuni*, ambos causan cuadros diarreicos e infecciones frecuentes en el hombre.

Más Información:

15. J. O. Noyce, H. Michels and C. W. Keevil. Use of Copper Cast Alloys to Control *Escherichia coli* O157 Cross-Contamination during Food Processing.
16. J. O. Noyce, H. Michels and C. W. Keevil. Use of Copper Cast Alloys to Control *Escherichia coli* O157 Cross-Contamination during Food Processing.

Las infecciones alimentarias provocadas por estos dos patógenos causan millones de casos y miles de muertes en todo el mundo. Tanto *Salmonella Enterica* como *Campylobacter jejuni* se mantienen en reservorios animales, principalmente en el tracto digestivo de aves y mamíferos, por ello la carne de ave, en especial pollos broiler, son la fuente más frecuente de infección para el hombre. Desafortunadamente los animales infectados no tienen síntomas por lo que es muy difícil separarlos antes que lleguen a los mercados.



La prevención es la herramienta recomendada por la FAO/OMS a través del Codex Alimentarius. La prevención es un proceso multifactorial sin soluciones universales simples, especialmente porque hasta la fecha se carece de sistemas de vacunación eficientes que impidan las infecciones aviarias. En este estudio se evaluó comparativamente la capacidad de inhibición de superficies de este metal con superficies de acero inoxidable y polímeros frente a

cultivos de *C. jejuni* a diferentes tiempos de exposición y a dos temperaturas de incubación (10 y 25°C). Los resultados mostraron que en los inóculos expuestos a superficies de cobre e incubados a 25°C se observaba una eficiente actividad antibacteriana y una significativa reducción (4 log) en los recuentos bacterianos a las 4 horas de seguimiento, mientras que en las otras superficies estos recuentos se mantuvieron.

En las superficies de cobre incubadas a 10°C también se observó un efecto antibacteriano pero menor al observado a 25°C, los recuentos disminuyeron a las 8 horas de incubación (Figura 1). Esto sugiere que el uso de las superficies de cobre es ventajoso ya que las propiedades antimicrobianas de este metal se mantienen activas mientras el trabajo en las plantas procesadoras se encuentra paralizado.

Los hallazgos de este estudio prometen una estrategia efectiva para prevenir la alta prevalencia de enfermedades gastrointestinales asociadas a *Salmonella Enterica* y *Campylobacter jejuni*, ambos patógenos reconocidos como los más frecuentes agentes zoonóticos que se transmiten por el consumo de aves contaminadas en el mundo.

Actividad antibacteriana del cobre sobre *C. jejuni* a 25°C

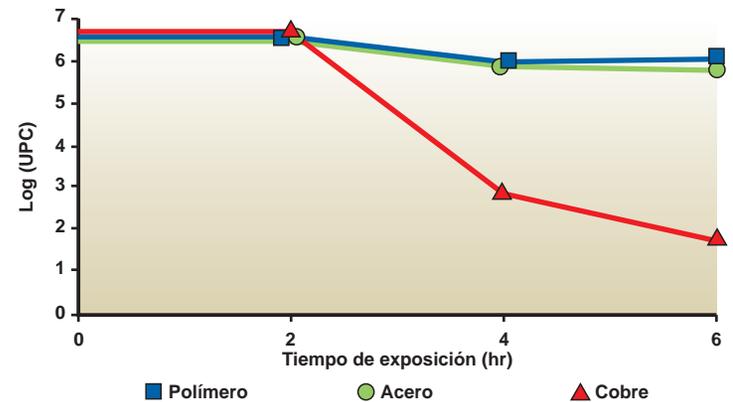


Figura 1. Sobrevivencia de *C. jejuni* en diferentes superficies. Inóculos de 3×10^6 UFC/ml fueron depositados sobre láminas de cobre, acero inoxidable y polímero, e incubadas a 25°C (A) ó 10°C (B). El gráfico muestra el promedio del log de los recuentos de cada punto de cada ensayo. A 25°C se detectó diferencias significativas entre los recuentos de superficies de cobre y superficie de control entre las 4 y 8 hrs. de exposición. A los 10°C. las diferencias fueron significativas a las 8 horas de exposición.

Actividad antibacteriana del cobre sobre *S. enterica* a 25°C

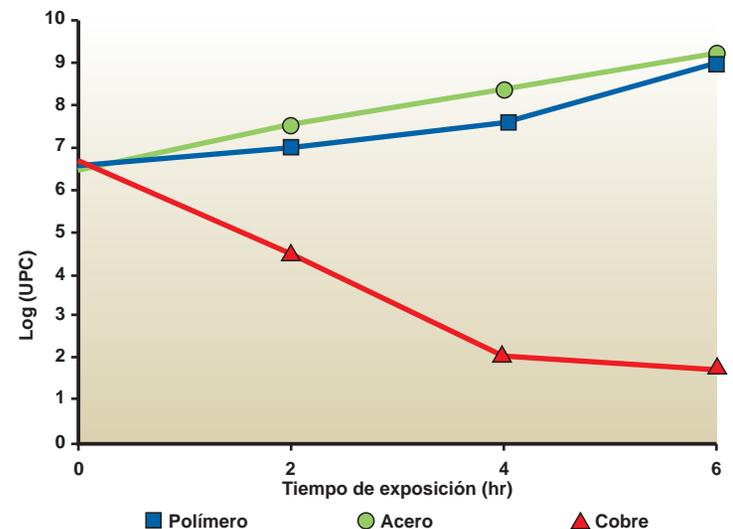


Figura 2. Sobrevivencia de *Salmonella enterica* en diferentes superficies. Inóculos de 3×10^6 UFC/ml fueron depositados sobre láminas de cobre, acero inoxidable y polímero, e incubadas a 25°C (A) ó 10°C (B). El gráfico muestra el promedio del log de los recuentos de cada punto de cada ensayo. A 25°C se detectó diferencias significativas entre los recuentos de superficies de cobre y superficie de control entre las 4 y 8 hrs. de exposición. A los 10°C. las diferencias fueron significativas a las 8 horas de exposición.

Estas infecciones que se presentan como brotes o casos esporádicos causan grandes pérdidas económicas debido a las atenciones médicas y a la reducción de la productividad, por pérdida de mercados. Las personas infectadas además de sufrir severos casos de gastroenteritis, pueden tener secuelas como sepsis en los afectados por *Salmonella* y el Síndrome de Guillain-Barré en el caso de los infectados con *Campylobacter*, un patógeno que llega al hombre por el consumo de alimentos contaminados.

Tanto *Salmonella* Entérica como *Campylobacter jejuni* son agentes zoonóticos ya que habitan el intestino de las aves por lo que durante sus procesos de faenamiento es frecuente que se contaminen las carcasas debido a que la evisceración libera fluidos intestinales ricos en estos y otros patógenos.



Es por esto que aunque exista un número bajo de carcasas contaminadas, ellas infectan las superficies y utensilios que luego sirven como transportadores de patógenos a carcasas eventualmente no contaminadas.

Estos resultados abren la posibilidad de disminuir la contaminación cruzada en muchos procesos comunes en la industria de los alimentos con el solo hecho de usar superficies de cobre. Esto es muy factible si se toma en cuenta que el costo de implementación de las superficies de cobre es totalmente competitivo con los actualmente usados por la industria alimentaria.

El cobre impide la multiplicación de *Listeria monocytogenes*, un patógeno letal de alimentos listos para consumir

L. monocytogenes es un patógeno oportunista que afecta principalmente a las personas con circunstancias subyacentes graves (inmunodeprimidos), mujeres embarazadas, fetos o niños recién nacidos y personas mayores. Este patógeno es responsable de 2.500 casos de enfermedad y de 500 muertes anualmente en E.E.U.U.

A pesar de su baja incidencia, la peligrosidad de esta enfermedad radica principalmente en su alta tasa de letalidad, aproximadamente del 20 a 30%.

L. monocytogenes está frecuentemente presente en alimentos crudos, tanto de origen vegetal como animal, y puede convertirse en endémica en los entornos de producción y procesamiento de los alimentos. También está presente en alimentos procesados, siendo la causa principal de las infecciones los alimentos listos para consumo (Ready to eat foods), tales como hot dog, fiambres, embutidos fermentados o deshidratados, y otras carnes y aves de la fiambrería.

La principal fuente de contaminación de estos productos es la producida por el contacto directo con productos crudos o bien con superficies contaminadas con *Listeria monocytogenes* (contaminación cruzada), la cual ocurre después de haber sido sometidas al tratamiento térmico realizado durante el proceso de producción⁽¹⁷⁾.

Esto último se debe a factores de adaptación que permiten a ciertas cepas de este patógeno persistir en el ambiente de las plantas procesadoras de alimentos. Entre estos factores podemos mencionar su capacidad de crecer a bajas temperaturas (<4°C), adherirse a las superficies y equipos utilizados en las plantas, para formar fácilmente biofilms, y la generación de resistencia a desinfectantes y sanitizantes, empleados regularmente en la industria alimentaria.

Cuando *Listeria* se adhiere a las superficies, éstas se convierten en focos potenciales de diseminación y contaminación de los productos crudos como procesados, dificultando así su eliminación.

Es por esto, que hoy en día, las plantas procesadoras de alimentos están utilizando diferentes métodos para reducir el riesgo de contaminación por *L. monocytogenes*, tales como agentes antimicrobianos, calor, irradiación y fermentación. Durante los últimos años la literatura científica cita la eficacia del cobre para inactivar muchos tipos distintos de microorganismos.



Más Información:

17. Faúndez G, Troncoso M, Navarrete P, Figueroa G. Antimicrobial activity of copper surfaces against suspensions of *Salmonella enterica* and *Campylobacter jejuni*. BMC Microbiol. 2004 April, 30; 4:19.

A pesar de las grandes propiedades bactericidas del cobre puro, su uso en las diferentes áreas de la industria de alimentos ha estado limitado por que reacciona con agentes ácidos y oxidantes, no es tan durable como el acero inoxidable y forma una pátina que podría percibirse como indeseable. Sin embargo, las aleaciones de cobre entregarían las mismas características antibacterianas, y serían durables y apropiadas para el uso en los ambientes de las plantas procesadoras de alimentos.

Se han realizado estudios de eficacia antimicrobiana en distintas superficies de contacto que han demostrado que el cobre y ciertas aleaciones de este, de hasta por lo menos 65%, inactivan fácilmente varios de los tipos más virulentos de *Listeria monocytogenes*.

Las tasas de sobrevivencia de *Listeria monocytogenes* determinadas por Wilks et al.⁽¹⁸⁾ se limitaron a 60 minutos a temperatura ambiente (20°C) al estar en contacto con el cobre puro (100%).



La misma eficacia antimicrobiana y tasa de inactivación de *L. monocytogenes* por contacto se pudo observar con las aleaciones de cobre de 96% (bronce-silicio), 95% (bronce-aluminio) y 90% (latón). Las aleaciones de bajo contenido de cobre tales como las de cobre-níquel (89%) y níquel-plata (65%) inactivaron a *L. monocytogenes* en plazos de 75 y 90 minutos, respectivamente.

Por otro lado, en el acero inoxidable, estas bacterias permanecían viables después de 90 minutos. Por lo tanto, las aleaciones de cobre tienen el potencial para reducir la incidencia de contaminación cruzada con el poderoso patógeno *L. monocytogenes*, lo que no ocurre con acero inoxidable.

Dada las evidencias del estudio, el uso de cobre, ya sea en superficies de contacto y equipos de las plantas

procesadoras de alimentos podría ser utilizado como una medida efectiva en reducir la contaminación bacteriana significativamente y controlar la contaminación cruzada con patógenos bacterianos como *Listeria monocytogenes*.

Más Información:

18. Evaluación de riesgos de *Listeria monocytogenes* en alimentos listos para el consumo. 2004. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Estudio multicéntrico del efecto de superficies con aleaciones de Cobre en la eliminación de infecciones intra hospitalarias

En ambientes donde la contaminación es un tema clave, diseñadores y operadores de instalaciones de salud, debieran explotar y tener en cuenta las propiedades antimicrobianas naturales del cobre, el metal más antiguo del hombre. En tiempos antiguos, el cobre era considerado útil por sus poderes curativos - en gran parte debido a sus propiedades antibacterianas y antihongos - en el tratamiento de heridas y enfermedades de la piel.

Los antiguos egipcios usaban el cobre para esterilizar heridas del pecho y tener agua potable ya en 2.600 AC. Hipócrates lo usaba para tratar heridas abiertas e irritaciones de la piel alrededor del año 400 AC, los romanos y los aztecas utilizaban cobre en el tratamiento de enfermedades y los persas e indios lo usaban para tratar furúnculos, infecciones oculares y úlceras venéreas. Formas de cobre usadas para el tratamiento de enfermedades iban desde astillas y virutas metálicas de cobre hasta varios óxidos y sales de cobre producidos naturalmente.

Los egipcios y los romanos también usaban instrumentos quirúrgicos de cobre y bronce, que incluían herramientas como agujas, cuchillos quirúrgicos y espéculos vaginales. Los ejemplos de esto, que pueden ser vistos en colecciones de museos, son un testimonio de la longevidad de las aleaciones de cobre. En el siglo XIX, en relación al descubrimiento de microbios y su asociación con las enfermedades, los científicos comenzaron a entender los procesos donde el cobre servía para estos propósitos.

Desde entonces hay cientos de documentos escritos sobre el tema. Hoy, la lista de aplicaciones higiénicas son amplias y han ido en aumento, dado el aporte de estudios clínicos e investigaciones que buscan demostrar su efecto higiénico del cobre en la lucha contra las infecciones intrahospitalarias en recintos de salud. Investigaciones recientes y en proceso realizadas por el profesor Bill Keevil y su equipo en la Universidad de Southampton (Inglaterra) probaron el efecto del cobre y de las aleaciones de este metal en la supervivencia de varias bacterias secas en su superficie.

Uno de los primeros organismos en ser testeado fue el *E. coli* O157, un organismo producido en los intestinos de reses sanas que pueden, durante el proceso, contaminar productos de carne y también puede ser pasada de cruda a carne cocida, resultado una infección humana.

Los resultados mostraron que el cobre inactivaba niveles extremadamente altos de contaminación de *E. coli* en menos de 90 minutos en temperatura ambiente. Latón, y aleaciones de cobre y cinc, lograron una inactivación total de la bacteria en dos horas mientras el control, de acero inoxidable,

permaneció fuertemente contaminado, incluso después de las 6 horas de duración de la prueba. En el momento que las infecciones adquiridas en hospitales emergieron como un tema, Keevil puso al cobre a prueba con una de las más virulentas cepas resistentes a los antibióticos: el *estafilococo aureus* resistente a la Meticilina. El equipo de investigadores demostró que la bacteria era eliminada después de 1.5 horas en cobre y después de 4.5 horas en latón a 20°C. En oposición, se detectaron organismos patógenos en acero inoxidable después de 6 horas a 4°C, la eliminación con cobre se completó en seis horas. En acero inoxidable los patógenos siguieron vivos. Algunos estudios, usando menos patógenos, parecido a lo real, mostraron completa eliminación de *MRSA* y *E.coli* en 20 minutos y a temperatura ambiente.

El Dr. Keevil concluyó que sus resultados ratificaron el uso del cobre como material higiénico en aplicaciones y elementos de salud, lo que se aplicó en el Hospital Selly Oak de Birmingham, Inglaterra, durante el 2007 y el 2008 y en otros lugares del mundo.

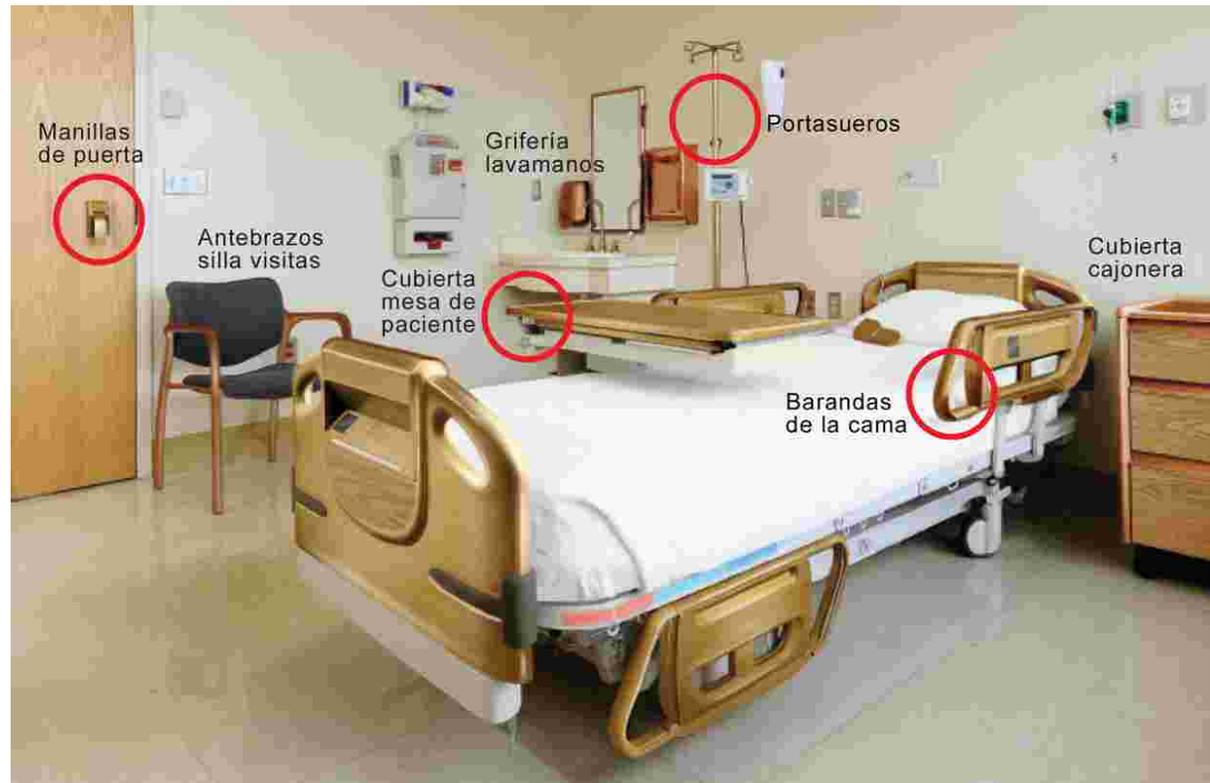
Se trata de un estudio multicéntrico impulsado por la Internacional Copper Association Ltd., que abarca a 7 centros de salud (Estados Unidos, Inglaterra, Alemania y Japón y Chile).



En el caso de las pruebas clínicas en el Hospital Selly Oak se monitoreó los niveles de contaminación en salas con implementos de aleaciones de cobre y se comparó con los niveles en otras salas provistas de acero inoxidable. El estudio demostró que las superficies con materiales que contienen cobre eliminan un amplio rango de potenciales y dañinos microorganismos - reduciendo significativamente el número de patógenos - que pueden entrar en contacto con pacientes, visitantes o el equipo humano que trabaja allí.

La investigación concluyó que los implementos elaborados con cobre tienen sobre un 95% menos de microorganismos, comparado con los mismos implementos elaborados con materiales estándar tales como el acero inoxidable. Las pruebas demostraron claramente su efecto en patógenos como *Estafilococo Aureus* resistente a la Meticilina (*MRSA*), *E.coli* O157, *Listeria monocytogenes* entre otras.

El Profesor Tom Elliott, Microbiólogo y Director Médico de la Fundación de Hospitales de la Universidad de Birmingham (NHS Foundation Trust), quien participó activamente en las pruebas clínicas del Hospital Selly Oak, destacó que el riesgo de contagiarse con una infección se redujo.



Los resultados arrojaron un 90 a 95% de eliminación de organismos patógenos, aún después de un día agitado en una sección con implementos manipulados por numerosas personas, son impresionantes. Las pruebas de laboratorio realizadas en la Universidad de Aston en Birmingham, han demostrado que el número de patógenos fue reducido significativamente cuando estuvieron en contacto con superficies de cobre, en comparación con el acero inoxidable. Por ejemplo, el *MRSA* fue eliminado en una hora luego de tener contacto con las superficies de cobre.

Para hacerle seguimiento a estos resultados, en el primer estudio clínico de su tipo, los implementos que contienen cobre, incluyendo llaves de agua, pasamanos, manillas de puertas, asientos de baño y barras de cama, fueron especialmente elaborados por fabricantes locales y ubicados en una sección clave del

Hospital Selly Oak. En el principal elemento de estudio, los implementos fueron higienizados dos veces al día, lo mismo con los implementos elaborados con materiales convencionales. Las muestras fueron llevadas a la Universidad de Aston donde eran examinados para ver cuántos microorganismos estaban presentes. Después de cinco semanas, los implementos fueron higienizados y probados por otras cinco semanas. Esta técnica fue diseñada para evitar el prejuicio, causado por implementos usados en diferentes lugares y de diversas maneras.

No hay duda que la brillante apariencia del acero inoxidable y el aluminio es asociado a ambientes clínicos limpios. Sin embargo, el trabajo del Dr. Keevil ha demostrado que la apariencia no lo es todo, y que una superficie que parece limpia puede contener peligrosos patógenos y ser una fuente de contaminación por días, semanas y meses.

Las aleaciones de cobre cambian su apariencia en el tiempo y pueden desarrollar una fachada añosa. A pesar de esto, se ha demostrado que mantienen las superficies limpias y eliminan gérmenes. Varias hipótesis se han planteado para explicar el efecto del cobre en microbios y las investigaciones continúan. Los microbios necesitan el cobre para sobrevivir, pero cuando están expuestos a una superficie de cobre, no pueden sobrevivir.

El cobre **y el medio ambiente**

Gustavo Lagos

El Cobre en el ambiente

Introducción

Hay un consenso generalizado en la comunidad científica que el proceso de desarrollo de regulaciones ambientales sólidas, protectoras de la vida acuática, debe estar basado en “ciencia de buen nivel” (Paul Paquin et al, 2002). Este principio se extiende, por supuesto, a todos los ámbitos de la actividad regulatoria ambiental y de salud humana.

La ciencia permite identificar y cuantificar los efectos ambientales y en asignarles una causa determinada. Esta relación es conocida como la relación causa-efecto.

Si se conoce la relación entre la concentración de una sustancia en el ambiente y el daño que esta produce ya sea a especies, ecosistemas o seres humanos, es posible regular su emisión y determinar la concentración que generará un daño aceptable para la sociedad, o bien determinar el nivel ambiental que no generará daño en absoluto.

La diferenciación entre una regulación que limita el daño a un nivel aceptable y una que elimina el daño depende de la naturaleza de la relación causa-efecto y, en consecuencia, no depende de la estrictez de la regulación.

En otras palabras es posible identificar niveles de presencia de algunas sustancias en que no se produce daño ambiental o a la salud humana, pero en otros, a menos que se reduzca la concentración de la sustancia a cero, no se reducirá completamente el efecto. Las sustancias cuya presencia generan cáncer, por ejemplo, basta con que estén en cantidades ínfimas para que se genere el efecto, mientras que la presencia de sustancias presentes en el agua que generan náusea, lo hacen, usualmente, siempre que estén presentes por sobre una cierta concentración. Bajo dicha concentración, en consecuencia, no se genera efecto alguno.

La sobre regulación ambiental se entiende como una medida que impone a la sociedad una norma o estándar más estricto de lo necesario para proteger la vida humana o de las especies del ambiente. Ello ocurre normalmente debido a falta de conocimiento científico y resulta en que la sociedad debe pagar más de lo necesario. Por otra parte cuando una sustancia presente en el ambiente está sub regulada, ello significa que el daño ambiental o a la salud es mayor de lo necesario. Muchas veces las regulaciones ni siquiera son sobre regulaciones o sub regulaciones, sino que son medidas equivocadas.



Por ejemplo, la eliminación de los utensilios de aluminio para cocinar alimentos decretada por varios países cuando se estimó que el aluminio era la causa del mal de Alzheimer, fue equivocada, por cuanto posteriormente se demostró que el aluminio no causa dicho mal. Por ello se ha desarrollado la Economía Ambiental, la que estudia los costos y beneficios generados por

las medidas ambientales aplicadas por la sociedad. El óptimo para la sociedad es tener regulaciones que sean “costo efectivas”⁽¹⁾ (D.W. Pearce, 1990), de acuerdo a los objetivos que la misma sociedad se coloque. Este concepto es utilizado por todas las grandes agencias regulatorias del mundo a la hora de aplicar medidas.

Pero además, hay una dimensión adicional al tema del avance de la ciencia y del costo efectividad de las regulaciones ambientales. Esta es la demostración que las naciones más pobres protegen menos el medio ambiente que las naciones desarrolladas ((B.R. Copeland (2004), J. Strand (2002)). De aquí que las naciones en vías de desarrollo no se puedan dar el lujo de sobre regular, mientras que las naciones desarrolladas, como está demostrado, sí se lo pueden dar. Los conceptos anteriores llevan a concluir que las regulaciones que se colocan como objetivo el principio de “cero emisión” o, peor, aún “cero concentración” son, muchas veces, equivocadas, no sólo porque intentan sobre regular, sino porque en muchos casos son imposibles de aplicar.

(1) La acepción de este término es que una medida es costo efectiva cuando genera los beneficios esperados por la sociedad.

Por ejemplo, una regulación que intenta limitar la emisión de arsénico a cero es prácticamente imposible de aplicar, por cuanto el arsénico es un elemento que existe naturalmente en la corteza terrestre, y por tanto, se encuentra presente en casi todas las rocas de la corteza, aunque sea en cantidades muy pequeñas. Lo que sí se puede considerar para regulaciones del tipo cero emisión, son aquellas sustancias que son exclusivamente creadas por los procesos productivos y que no existen en forma natural.

La necesidad de usar el Principio Precautorio se hace menos acuciante en la medida que la ciencia avanza. Este principio propone que en ausencia de información científica es “aceptable” regular debido a la presunción de una relación causa y efecto, para proteger la vida humana y el medio ambiente. El avance de la ciencia significa que muchas situaciones en que medidas precautorias inadecuadas habían sido adoptadas, puedan identificarse y corregirse. La utilización del principio precautorio es muy ineficaz desde una perspectiva económica para la sociedad, por cuanto sobre regula muchas situaciones, generando costos innecesarios para la sociedad.

Después de 30 años desde que se inició la revolución ambiental en los países desarrollados, el progreso en la calidad de la ciencia y en el número de científicos abocados a resolver los principales problemas del devenir ambiental global, demuestra que el enfoque de la ciencia puede generar las soluciones a muchos de los problemas ambientales actuales.

Este trabajo se colocó como objetivo comunicar una visión de los principales progresos científicos que ha habido en el ámbito de la industria del cobre en los últimos 20 años para comprender el rol del cobre en el medio ambiente y de la salud y para generar soluciones que permitan regular en forma “costo efectiva”.

La historia que se expone a continuación, ayuda a comprender por qué, el cobre, después de nueve mil años de uso, y siendo junto al oro, los dos primeros metales usados por el hombre, sigue vigente como uno de las materias primas más importantes de la sociedad contemporánea.



El contexto del Cobre en el mundo

En 2007 - 2008 el uso del cobre en el mundo fue de un poco más de 18 millones de toneladas (WBMS, 2008), lo que representaba un uso per cápita de cerca de 2,6 kg por persona por año, considerando una población mundial de unas 6.800 millones de personas. Sólo dos metales, el hierro y el aluminio, superaron al cobre en tonelaje de uso, con cerca de 950 millones de toneladas y con 43 millones de toneladas, respectivamente. Ante otros metales como el zinc (11 millones de toneladas), el plomo (4 millones), níquel (2 millones), estaño (0,3 millones), el molibdeno (0,2 millones) y la plata (0,02 millones), el cobre es un verdadero gigante (USGS, 2008), (Radetzki M., 2009).

Ello a pesar que el cobre es un elemento relativamente raro en la corteza terrestre (presente en sólo 68 partes por millón), mucho menos abundante que el hierro y el aluminio, los que están presentes en 6,2% y 8,3%, respectivamente (ver Tabla 1). En otras palabras, el hierro y el aluminio son cerca de mil veces más abundantes en la corteza terrestre que el cobre. La Figura 1 muestra la abundancia relativa de los elementos en la corteza terrestre, en que en el eje vertical se muestra el número de átomos de cada elemento por el número de átomos de silicio⁽²⁾ y en el eje horizontal se muestra el número atómico de cada elemento, el que es proporcional al peso atómico de los elementos. Los elementos en la corteza terrestre siguen un ordenamiento natural que tiene relación con su número de electrones y neutrones.

Las propiedades de los elementos están ordenadas en la Tabla Periódica de los Elementos, descubierta por el célebre científico Ruso Dmitri Ivánovich Mendeléiev en 1869. Así, por ejemplo, el cobre, está colocado en la columna de los elementos más nobles, la plata y el oro y comparte con estos una serie de propiedades químicas y físicas. Sus propiedades son sorprendentes, es el segundo mejor conductor eléctrico detrás de la plata y es seguido por el oro y el aluminio. Por este motivo el cobre es el material preferido para la conducción eléctrica, porque además, es un material más barato que la plata y sus propiedades físicas también lo favorecen.

Este es el mismo orden de estos elementos para la conductividad térmica. Por ello el cobre es material preferido para muchas aplicaciones en que se requiere conducir y disipar el calor como los radiadores de automóviles, los refrigeradores, los aparatos de aire acondicionado, etc. Pero además, es un elemento esencial para la vida en la tierra. Los seres humanos ingieren unos pocos miligramos de cobre diariamente en los alimentos y en el agua, sin los que no podrían vivir.

A la vez es un material bactericida que después de millones de años de existencia, es extraordinariamente efectivo en eliminar las bacterias y virus más perjudiciales para la salud humana. El cobre tiene otras dos propiedades extraordinarias. Por una parte forma aleaciones⁽³⁾ conocidas como bronce, los que se han usado durante milenios en estatuas, ornamentos, techos, armas y utensilios diversos.

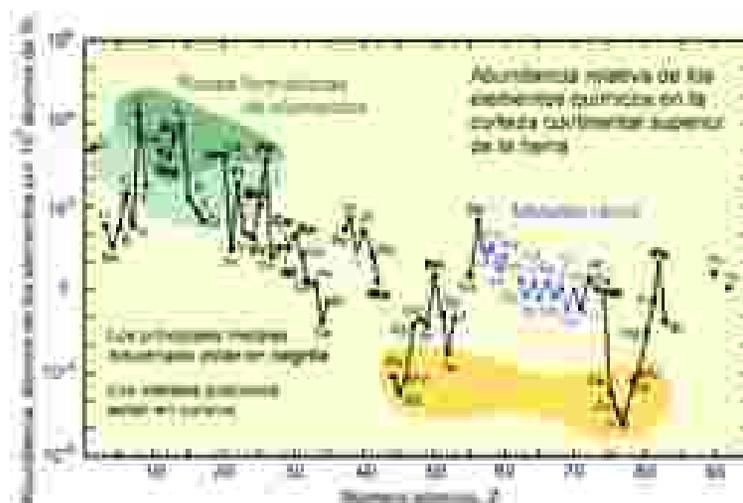


Figura 1: Abundancia de los elementos en la corteza terrestre(CdM1)

(2) El silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, representando cerca del 28% en peso de esta.

(3) Mezclas de cobre y otros metales.

Y por otra parte el cobre, en combinación con agua forma malaquita, un mineral verde de mucha belleza, el que fue usado en joyas, estatuas, y adornos diversos, siendo el más célebre el construido para el Zar Nicolás de Rusia quien pidió una sala privada de malaquita en el famoso Palacio de Invierno, hoy el museo Hermitage en San Petersburgo. Otros minerales ornamentales en base a cobre son la azurita, chalcantita, turquesa, dioplasa, crisocola, y la atacamita.

¿Cuánto cobre hay en el mundo?

De acuerdo a Greenwood y Earnshaw (1984) las rocas de la corteza terrestre contienen 68 partes por millón (ppm) de cobre en promedio, y otros metales y elementos están presentes de acuerdo a la Tabla 1.

Elemento	ppm	Elemento	ppm
Oxígeno	455.000	Cloro	126
Silicio	272.000	Cromo	122
Aluminio	83.000	Níquel	99
Hierro	62.000	Zinc	76
Calcio	46.600	Cobre	68
Magnesio	27.640	Cobalto	29
Sodio	22.700	Plomo	13
Potasio	18.400	Arsénico	1,8
Titanio	6.320	Molibdeno	1,2
Hidrógeno	1.520	Cadmio	0,16
Manganeso	1.060	Mercurio	0,08
Azufre	340	Plata	0,08
Carbono	180	Platino	0,01
Vanadio	136	Oro	0,004

Tabla 1: Composición de las rocas de la corteza terrestre, en partes por millón (ppm) Fuente: Greenwood y Earnshaw (1984)

Es sorprendente que el oxígeno, el elemento más abundante en la corteza terrestre y vital para la vida, haya sido descubierto por el científico Sueco Karl Scheele en 1772, más de ocho mil años después del descubrimiento del cobre. Y el tercer elemento más abundante de la tierra, y a la vez, el metal más cuantioso, el aluminio, fue descubierto recién en 1787 por Antoine de Lavoisier.

De acuerdo a las estimaciones de Tilton (2004) habría más de mil millones de trillones de toneladas de cobre en la corteza terrestre, lo que a un ritmo de crecimiento cero, alcanzaría para 100 millones de años de uso sin considerar reciclaje.

Flujo de cobre a nivel global

Una minúscula fracción del cobre que hay en la tierra se mueve en forma constante. Desde el suelo al aire por acción del viento y de las actividades humanas; desde los océanos a la atmósfera por efecto de evaporación, mediante las erupciones volcánicas, a partir de las partículas emitidas en incendios; desde la flora, fauna, suelo y desde los seres humanos, en partículas biogénicas⁽⁴⁾, mediante la extracción de minerales, a partir de las

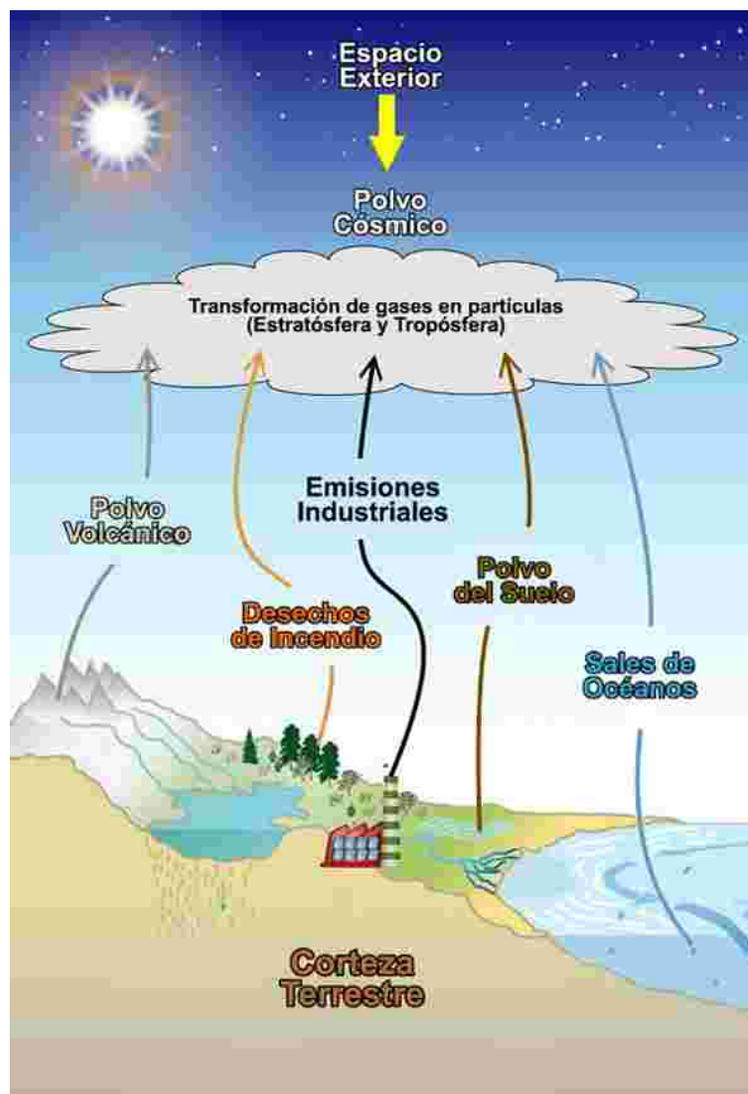


Figura 2. Flujo de elementos y compuestos químicos en la tierra. Fuente: ICME, 1996 (CdM3)

(4) Partículas biogénicas son pequeñas partículas que contienen virus, bacterias y otros componentes biológicos y que también pueden contener compuestos metálicos. Dichas partículas pueden ser emitidas desde la flora y fauna, así como de los seres humanos. Aunque las partículas biogénicas pueden ser inocuas, la respiración de partículas biogénicas que contienen virus y bacterias es uno de los mecanismos de transmisión muchas otras enfermedades. La existencia de partículas biogénicas en la atmósfera no se debe al cobre ni a ningún otro metal en particular.



emisiones industriales y de productos de cobre en uso; en el agua subterránea y superficial, en las corrientes marinas y sedimentos; en los alimentos; y en el polvo cósmico que llega a la tierra en forma constante.

No hay estimaciones confiables para muchas de estas verdaderas corrientes de cobre. La Figura 2 muestra el flujo del cobre en la tierra. Las estimaciones del total de cobre que circula son gruesas. Por ejemplo, un 93% del cobre que ingresa a la atmósfera año a año provendría de fuentes naturales (ICME, 1996). Se sabe que en 2008 el cobre usado en diversas aplicaciones fue del orden de 23 a 24 millones de toneladas, de los que el 65% provenía de la extracción de minas, un 12% provenía del reciclaje de cobre, fundamentalmente usado, y el resto provenía de chatarra nueva, usada en los procesos de semimanufactura y producción de bienes.

El polvo cósmico⁽⁵⁾ que proviene del espacio exterior ha sido estimado en aproximadamente 40 mil toneladas por año, con error de más menos 50% (Klekociuk, 2005). Este sería el aporte total de materia desde el espacio exterior, una fracción pequeña de la que podría ser cobre. Ello es cercano a la cifra de 30 mil toneladas citada por Bryson (2003). Hay una amplia variedad de cifras disponibles para la composición del polvo cósmico. Aquí se usó el valor de 60 partes por billón⁽⁶⁾ para estimar la cantidad de cobre aportado por el polvo cósmico, bastante inferior a la composición de la corteza terrestre.

La cantidad de cobre aportada por el polvo cósmico por año es del orden de unos pocos kilogramos, lo que es insignificante en relación al contenido de la corteza terrestre y respecto a las reservas económicas conocidas. Con posterioridad se analizará las fuentes antropogénicas⁽⁷⁾ de cobre más en detalle. Entonces, la respuesta a la pregunta de **¿cuánto cobre hay en la tierra?** es, el mismo que había desde la formación de la tierra, más el aporte del polvo cósmico. El cobre que ha sido utilizado en el mundo durante los 9 mil años pasados está íntegramente en la tierra y nadie puede destruirlo o eliminarlo.

¿Dónde está el cobre en el mundo?

El cobre de la corteza terrestre está disperso en general pero se concentra en lugares llamados yacimientos. Los yacimientos de cobre más abundantes en el mundo son Chuquicamata y El Teniente, ambos ubicados en Chile. Estos han sido explotados por cerca de 100 años y todavía tienen reservas económicamente extraíbles para más de 50 años⁽⁸⁾ (Codelco, 2007). Además los yacimientos tienen “recursos” minerales, los que son depósitos menos ricos en ley del mineral⁽⁹⁾.

El rajo de Chuquicamata tiene un kilómetro de profundidad. Hacia abajo hay otro kilómetro de reservas y recursos conocidos, y más abajo no se ha explorado. Lo que se conoce de yacimientos es lo que está cerca de la superficie, y es altamente probable que uno o dos kilómetros hacia el interior de la corteza haya muchos yacimientos desconocidos en la actualidad.

(5) Incluyendo los meteoritos, el polvo cósmico pueden ser también partículas de pequeños tamaño.

(6) http://www.webelements.com/periodicity/abundance_meteorite_stony_bar_chart.html

(7) Emisiones generadas por el hombre.

(8) Se denomina “reservas” a la cantidad de mineral que es económicamente extraíble de acuerdo a una definición del US Bureau of Mines, el que se fundió hace más de una década, con el US Geological Survey, USGS. Otras agencias gubernamentales tienen definiciones de reservas levemente distintas, y la usada internacionalmente como referencia es la del USGS.

(9) La ley de un mineral es la concentración de metal que contiene, la que usualmente se expresa en porcentaje, pero puede expresarse también en gramos de metal por tonelada de roca y en otras unidades.

Variable	Unidad	Cantidad	Referencia
Recursos de Cobre en la Corteza Terrestre	MT	2,0 *109	Tilton, 2004
Reservas de Cobre	MT	380	Tilton, 2004
Demanda Total de Cobre en el siglo XIX	MT	10	Estimación del Centro de Minería, 2009
Demanda Total de Cobre en el Siglo XX	MT	464	World Bureau of Metal Statistics
Producción de Cobre Primario en el Siglo XX	MT	411	World Bureau of Metal Statistics
Producción de Cobre Secundario (Chatarra Vieja) en el Siglo XX *	MT	52	resta entre uso y producción primaria
Inventario de Cobre en Uso en el mundo en 1996	MT	210	Jolly, 2001
Cobre en Botaderos en el mundo en 1996	MT	250	Lagos, 2004
Vida media del cobre en uso, 1996	años	27	Jolly, 1997

MT: millones de toneladas; * La Producción total de cobre secundario (Chatarra Vieja) fue estimada como la diferencia entre la Demanda de Cobre y la Producción de Mina. Esta cifra es posiblemente una subestimación de la chatarra vieja refinada.

Tabla 2: Indicadores de la localización del cobre en el mundo(CdM4).

Las reservas conocidas de cobre eran de 380 millones de toneladas como se observa en la Tabla 2, la que muestra indica cifras claves sobre la cantidad de cobre en el mundo. Se observa que en el siglo XX la producción de cobre reciclado fue bastante menor que la producción de cobre de mina. Esto será analizado más adelante. También se advierte que lo que había en uso en 1996 (210 millones de toneladas de cobre), era parecido a las 250 millones de toneladas que se encuentran en botaderos.

Las reservas conocidas

Otro aspecto destacable de las cifras de la Tabla 2 es que las reservas conocidas en 2004, de acuerdo al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) era ínfima en relación al total de cobre en la corteza terrestre. De hecho si se hace la aritmética de las reservas conocidas, se concluye que en 2000 estas duraban 23 años, a un ritmo de crecimiento de 3% anual del uso del cobre. Ello, ciertamente, parece muy poco para un observador no especialista. La Figura 3 muestra la evolución de la esperanza de vida de las reservas económicas de cobre, con datos del US Bureau of Mines y del USGS. Se observa que la tasa se mantuvo en rangos entre 23 y 35 años en los últimos 70 años del siglo XX, con una tendencia a la reducción a niveles de 23 años en la última década del siglo.

Ello se explica debido a que las nuevas tecnologías en ingeniería permitieron reducir la duración de la construcción de nuevas minas. Efectivamente, el plazo desde el comienzo hasta el final de la construcción de una mina se redujo desde unos cinco años en promedio, hace 25 años, hasta 3 años en la actualidad.

La explicación para el hecho que las reservas conocidas de cobre sean tan pequeñas en tiempo de vida, es que estas dependen de la cantidad de inversión en exploración y de las tecnologías de explotación y procesamiento. Las empresas dueñas de los yacimientos no tienen fuertes incentivos para invertir en exploración si sus reservas conocidas son de 20 años o más, porque el valor de lo que descubrirán no se podrá explotar hasta muchos años después. Es decir el “valor presente”⁽¹⁰⁾ de sus inversiones no crecería significativamente.

Esperanza de vida de las reservas de cobre, dada la tasa de crecimiento del uso de 3% anual

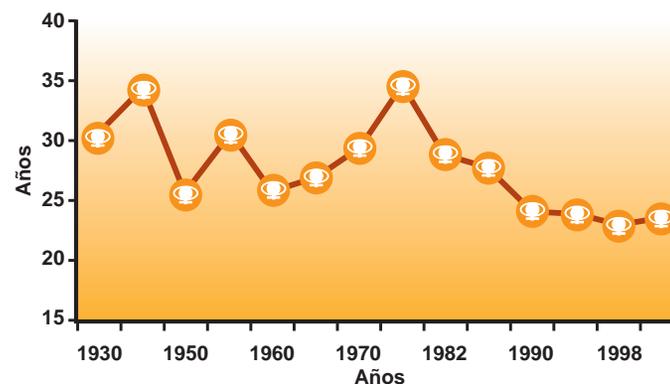


Figura 3: Esperanza de vida de las reservas de cobre, dada la tasa de crecimiento del uso de 3% anual. Fuente: US Bureau of Mines y USGS .

Por otra parte, cuando se inventa una nueva tecnología de extracción o de procesamiento, aumentan las reservas ya que ello hace posible extraer minerales de una “ley” más baja que antes, obteniendo las mismas utilidades. Esta fuente de nuevas reservas ha sido más importante que el descubrimiento de nuevos yacimientos en épocas de la historia.

Las cifras anteriores indican que no se percibe una escasez de oferta de cobre en el corto plazo, es decir que la industria minera puede proveer el cobre que el mercado necesite. Tilton (2007) hace un análisis sobre las reservas y recursos de cobre disponibles.

(10) El valor presente es el valor actual del dinero al que se podrá acceder en el futuro. Por ejemplo, un dólar del que se va a disponer en 2020 vale significativamente menos en abril de 2009 que un dólar del que se dispondrá en mayo 2009. .

Ciclo de vida del Cobre

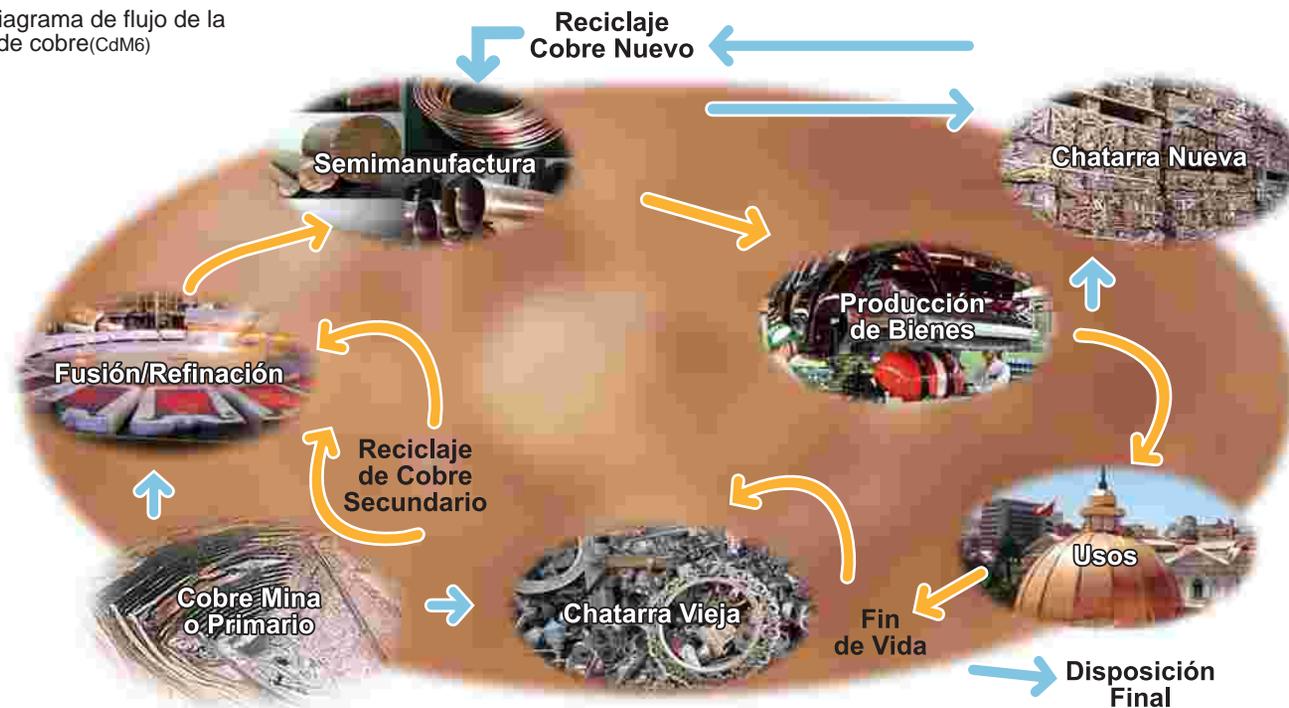
La Figura 4 muestra el ciclo de vida del cobre en forma simplificada, omitiendo productos intermedios y varios procesos alternativos. Este ciclo incluye desde que el cobre es extraído del suelo hasta que es reciclado o dispuesto en botaderos.

El ciclo de vida es un concepto importante ya que forma parte de un proceso de análisis usado en la actualidad por las empresas que fabrican bienes y también por los gobiernos y agencias regulatorias para comparar los insumos, productos y emisiones de los diversos productos y procesos.

El cobre de mina se extrae y se procesa, usualmente mediante fusión y refinación⁽¹¹⁾, posteriormente se vende como cátodo a las empresas semimanufactureras, las que fabrican planchas, alambre, cable, barras, cañerías, flejes y aleaciones.

Estos productos son vendidos directamente al público en el caso de conductores eléctricos y cañerías, mientras que el resto de los productos son adquiridos por los productores de bienes de consumo, por ejemplo, automóviles, televisores, refrigeradores, computadores, aviones, fontanería, ollas, artículos ornamentales y artesanales, etc.

Figura 4: Diagrama de flujo de la producción de cobre(CdM6)



(11) También puede procesarse mediante lixiviación, extracción por solventes y electro-obtención.

Por ejemplo, las empresas que fabrican radiadores para automóviles les interesa conocer la comparación de insumos, y emisiones de los radiadores de cobre y de aluminio. Por ello se estima la cantidad de energía gastada en fabricar estos radiadores, desde que el cobre y el aluminio se extrae del suelo o se recicla, hasta que estos materiales son reciclados o dispuestos en botaderos. Se estiman también todas las emisiones generadas en todas las etapas de la vida del cobre y del aluminio, y la duración del uso de estos radiadores.

Cobre disponible por sector económico	Vida útil (Jolly, 2001)	Vida útil (Henstock, 97)	Vida útil (US Bureau of Mines, 1974)	Participación por sector en uso total, 1996, (Sebastian Escala, 2000)
Construcción	45	35	25	23,2
Transporte	15	10	9	22,0
Electricidad	40	30	23	25,6
Maquinaria Industrial	20	15	18	17,0
Bienes de Consumo	15	10	7	12,0
Promedio	27	20	16	

Tabla 3: Vida útil del cobre por sector económico y participación de sectores en uso total(CdM7).

Este método se denomina “Análisis de ciclo de vida” y arroja indicadores ambientales que son considerados junto a los costos de fabricación, para decidir que material se usa. El mismo tipo de análisis se ha hecho para una infinidad de productos, por ejemplo, vasos de cartón en comparación con vasos de plástico; cañerías de calefacción y de agua potable, etc. Por ahora estos métodos son enteramente voluntarios⁽¹²⁾.

El concepto más avanzado de fabricación es que el fabricante se preocupa del ciclo de vida completo de sus productos, diseñando estos para que se obtenga un máximo de reciclaje, desde la “cuna” del material o del proceso, hasta su “tumba”, para que se gaste el mínimo de energía y se emita un mínimo de contaminantes perjudiciales para el hombre y el ambiente.

La vida útil promedio del cobre en las diversas aplicaciones era 27 años en el año 2000 (Lagos, 2004). La Tabla 3 muestra la vida útil de las aplicaciones más relevantes y la fracción de mercado que representaban en 1996.

Por ejemplo, Jolly (2001) indica que el promedio de vida útil del cobre en la construcción era 45 años. Es decir, si se construyó una casa en 1955, recién en 2000 se modificarían los circuitos, cañerías y llaves de la casa, permitiendo que el cobre originalmente instalado estuviese disponible para reciclaje. En 2000, el 23,2% del mercado del cobre correspondía a la construcción.

Lagos (2004) adoptó la información de Jolly (2001) para estimar el cobre disponible para reciclaje en el año 2000. Es importante destacar que la vida útil del cobre se ha ido alargando con el progreso tecnológico, aunque no en todas las aplicaciones. Más de 200 millones de viviendas en el mundo tienen cañerías de cobre⁽¹³⁾ y el período de modificación de las cañerías en construcciones se ha alargado. En cambio el cobre utilizado en computadores y celulares se ha acortado ya que estos bienes tienen una corta vida útil.



⁽¹²⁾ Este método está contenido en las normas ISO 14001.

⁽¹³⁾ Estimación de G. Lagos.

Usos del Cobre

Descubrimiento de la electricidad y la revolución industrial

Si bien el descubrimiento de la electricidad data de los griegos, los primeros usos industriales comenzaron después del descubrimiento del dínamo por Miguel Faraday en 1831. El uso masivo de la electricidad ocurrió después de 1879 con el descubrimiento de la lámpara incandescente por Thomas Edison, que utilizaba un filamento de platino a sólo 10 voltios.

No es de extrañar, entonces, que antes del descubrimiento de la electricidad, en el siglo XIX el uso del cobre fuese bastante bajo, llegando en 1850 a poco más de 50 mil toneladas. La Figura 5 muestra el uso del cobre desde 1835 a 1920, y se aprecia el efecto que tuvo la revolución industrial, la que comenzó en 1870 en Inglaterra, en el crecimiento del mercado.

La Figura 5 muestra el aumento explosivo de la electricidad y del uso del cobre entre 1875 y 1917. En estos 42 años el uso del cobre aumentó casi 12 veces, mientras que en los 42 años anteriores, entre 1833 y 1875 su uso aumentó poco menos de 4 veces.



La Bolsa de Metales de Londres (BML) se creó en 1876 y comenzó a transar cobre y estaño. El primer “contrato estándar” de la BML fue la “Chilean Bar”, creado en 1883, cuando Chile había pasado el auge de la producción de cobre del siglo XIX, en que llegó a producir más de la mitad del cobre del mundo. Se creó este contrato porque el cobre chileno representaba la mayor parte del cobre transado en Europa en esa época. En la Figura 5 se observa, también, que el crecimiento del uso del cobre en la era moderna tuvo su primera crisis de significación al terminar la primera guerra mundial, en 1918.

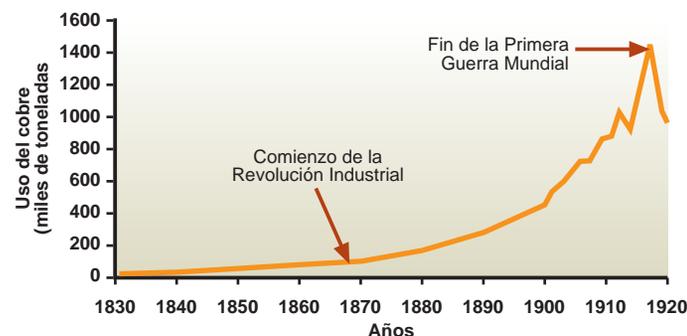


Figura 5. Uso del cobre entre 1835 y 1920.
(Fuente: Base de datos del Centro de Minería, PUC(CdM8))

Una mirada al uso del cobre en el siglo XX

La Figura 6 muestra el uso del cobre desde 1900 a 2007. Mientras en el siglo XIX la demanda de cobre creció 45,2 veces, desde 10 mil toneladas anuales en 1800 a 452 mil en 1900, en el siglo XX el crecimiento fue de sólo 33 veces hasta llegar a 15,1 millones de toneladas (Lagos G., Henríquez H., 2004). En términos de crecimiento anual, la demanda anual en el siglo XX aumentó algo más de 3,5 % comparado con un 4,5% anual para el siglo XIX. El crecimiento fue, en promedio, un 3,6 % en la primera mitad del siglo XX y 3,4 % en la segunda mitad.

Como se puede apreciar en las Figuras 5 y 6, hay períodos en que el uso del cobre baja y ello coincide con las crisis económicas mundiales. Ya se mencionó la que siguió a la primera guerra mundial. En la Figura 6 se aprecia la reducción del uso que siguió a la Gran Depresión de 1929, la reducción menor que siguió a la finalización del segunda guerra mundial en 1945, la crisis del petróleo de 1974, y la crisis económica de 1982, la que fue acompañada por el comienzo de la aplicación de las grandes leyes ambientales en los Estados Unidos.

La industria minera del cobre de este país prácticamente cerró, y tuvo que transformarse tecnológicamente para poder seguir operando con las nuevas exigencias de emisión de contaminantes que se impusieron entonces.

En 1990 se redujo nuevamente la demanda debido al colapso de la Unión Soviética y los países que conformaban el Pacto de Varsovia. Finalmente se aprecia la crisis Asiática que comenzó en 1998. No se observa en esta figura muchas otras crisis económicas que ocurrieron y que fueron de una envergadura menor. Tampoco se aprecian los grandes auges de los usos. Para ello hay que mirar un gráfico de precio.

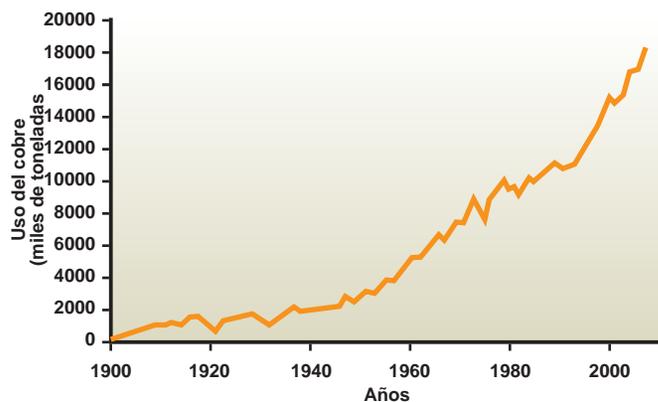


Figura 6: Uso del cobre desde 1900 a 2007
(Fuente: Base de datos del Centro de Minería, PUC[CdM9])

Ciclos de precio y tecnología

Lo característico de la reducción del uso del cobre es que baja el precio porque hay más oferta que demanda. Durante el siglo XX existieron numerosos ciclos de precio, que duraron en promedio 10 años entre el máximo de precio anterior y el máximo siguiente. Pero hubo variaciones en las duraciones de algunos ciclos ya que se trató de mini crisis, como la del 1993.

La demanda o usos del cobre - y no la oferta - son el factor detonante en las crisis económicas y también en los auges. Las compañías productoras de cobre de mina y de reciclaje, que son quienes generan la oferta, tienen como objetivo satisfacer la demanda, aunque están también presentes en el terreno de la promoción de nuevos usos y tecnologías, defensa de los mercados existentes frente a los materiales competidores, y para garantizar que los productos que se elaboran en base a cobre tengan acceso a los mercados frente al creciente número y exigencia de las regulaciones ambientales en el mundo. Este último factor se enfrenta mediante el desarrollo de nueva ciencia y de nuevas tecnologías y será abordado más adelante.

Los ciclos de precio existen porque cuando sube la demanda, sube el precio ya que las compañías mineras no están en condiciones de abastecer la creciente demanda y se demoran aproximadamente 5 años, desde que deciden invertir en nuevos proyectos y en ampliaciones hasta que estos entran en producción.

Los ciclos de precio y en particular los auges de precio son clave para el desarrollo de nuevas tecnologías y para la obsolescencia tecnológica. El motivo es que no todos los materiales competidores aumentan su precio en la misma proporción en dichos auges. Por ejemplo en el último auge de precios el aluminio y el plástico aumentaron su precio mucho menos que el cobre, y por tanto algunos productos de cobre, tales como las cañerías que conducen el agua potable, los techos de cobre e incluso algunas aplicaciones eléctricas bajaron su uso debido a que los consumidores prefirieron productos de menor precio.

Por ello se generó importante sustitución de estos productos de cobre. El problema aquí es que cuando el precio baja, es posible que los usos originales de estos productos no se recuperen a los niveles anteriores.

Una mirada al uso del cobre por persona

Como se observa en la Figura 7, el uso del cobre retrocedió desde 40 gramos per cápita por año el año del nacimiento de Cristo, hasta 10 gramos per cápita por año en 1800. Hubo dos máximos de uso en este período de 1800 años, uno fue el generado por el auge de la metalurgia en el Imperio Romano, 55 años después de Cristo, y otro por la Dinastía Sung en China. Los años de menor uso per cápita en estos 1800 años fueron los de la Edad Media.

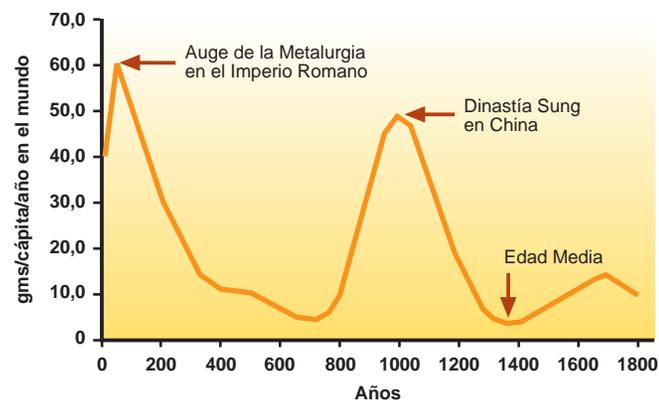


Figura 7: Uso per cápita del cobre entre el año del nacimiento de Cristo y 1800(CdM10).

Los aumentos y reducciones del uso per cápita de cobre dependen del aumento del uso del metal, pero también del aumento de la población. Posterior a la caída del Imperio Romano y durante 800 años la población del mundo creció más que el uso del metal. Lo mismo ocurrió desde el término de la Dinastía Sung en China en el año 1000 DC, durante la Edad Media e incluso a través del Renacimiento.

La información de uso del cobre en la antigüedad y hasta tiempos presentes, la obtuvo un grupo de investigadores a partir de la evidencia de la presencia de cobre con respecto al aluminio en glaciares en Groenlandia (Suming Hong et al., 1996). Se supone que la presencia de aluminio aumentaba en forma constante, debido a la circulación natural de polvo de aluminio, hasta que comenzó el uso de este metal en el siglo XX, mientras que el cobre era usado desde hace 9 mil años, es decir desde 7 mil años antes de Cristo. La información de población fue obtenida a partir de Angus Maddison, 2003.

La Figura 8 muestra el uso per cápita del cobre por año desde 1800 hasta 2007, período en que esta subió desde 10 gramos per cápita por año hasta los 2,7 kg que se usan actualmente. En el mismo período el uso del cobre subió 40 veces y la población mundial aumentó 6,6 veces desde mil millones a seis mil seiscientos millones de habitantes.

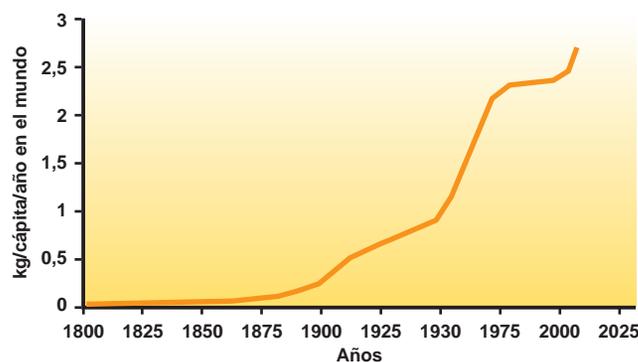


Figura 8. Uso per cápita del cobre desde el año 1800 hasta nuestros días(CdM11).

La intensidad del uso del cobre⁽¹⁴⁾ se redujo en los países desarrollados entre 1960 y 1985 y posteriormente se estabilizó hasta fines de los 90. Sin embargo, posteriormente se ha seguido reduciendo. Ello se explica porque estos países ya alcanzaron el nivel de infraestructura y construcción que requerían para su desarrollo industrial, y por tanto el nuevo desarrollo ha estado focalizado en industrias que son menos intensivas en infraestructura.

Por ello el uso del cobre por ingreso per cápita ha ido reduciéndose en las últimas dos décadas en la mayor parte de los países desarrollados, como se observa en la Figura 9. Si bien el uso del cobre per cápita a nivel global es un indicador fidedigno, no lo es así a nivel de países ya que no contabiliza los productos importados y exportados que contienen cobre, tales como los productos semi manufacturados⁽¹⁵⁾, los automóviles, línea blanca y todos los otros.

(14) La intensidad del uso del cobre en un país dado es el tonelaje de cobre en dicho país dividido por su producto interno bruto.
 (15) Planchas, alambrión, tubos, etc.

La migración de una parte de la industria semi manufacturera y de reciclaje metálico hacia China e India y otros países de bajo costo de obra, ha creado distorsiones importantes en las estadísticas del uso del cobre por países, como se observa en la Figura 9.

Por ejemplo, la industria que fabricaba alambrión en el Reino Unido migró de este país y por ello, además del decrecimiento natural que han experimentado los países desarrollados en uso per cápita. Chile, por ejemplo, exhibe un alto índice de uso per cápita porque tiene varias empresas semi manufactureras cuyas exportaciones de alambrión, cañerías y otros productos no se contabilizan en el uso del cobre de Chile. Así, el hecho que Japón y Alemania hayan mantenido sus índices de uso per cápita indica más la suerte de la industria semi manufacturera, la que se ha mantenido en esos países, que el uso interno que tienen dichos países.

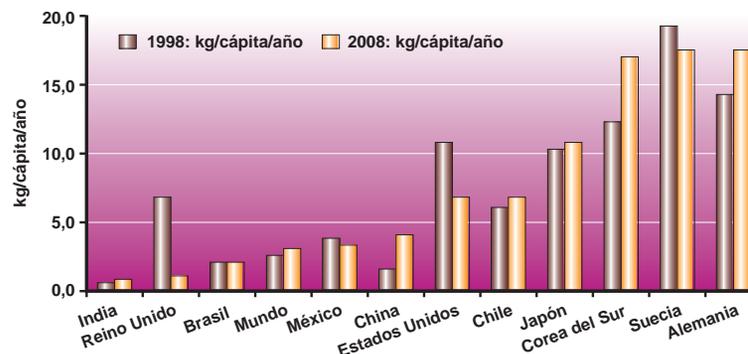


Figura 9. Uso del cobre en kilogramos per cápita por año para 1998 y 2008(CdM12).

Las aplicaciones eléctricas del cobre

El cobre es utilizado en la actualidad en casi todas las aplicaciones de conducción eléctrica, como indica la Figura 10. Por ello, los usos eléctricos del cobre son aproximadamente el 70% del total del uso del cobre en el mundo.

La Figura 10 indica que los cables utilizados en la construcción, los conectores eléctricos y electrónicos y los cables de transmisión de potencia son los tres usos eléctricos más importantes del cobre en la actualidad. Se aprecia también que los cables utilizados en motores eléctricos y en automóviles y vehículos de transporte son de gran importancia.

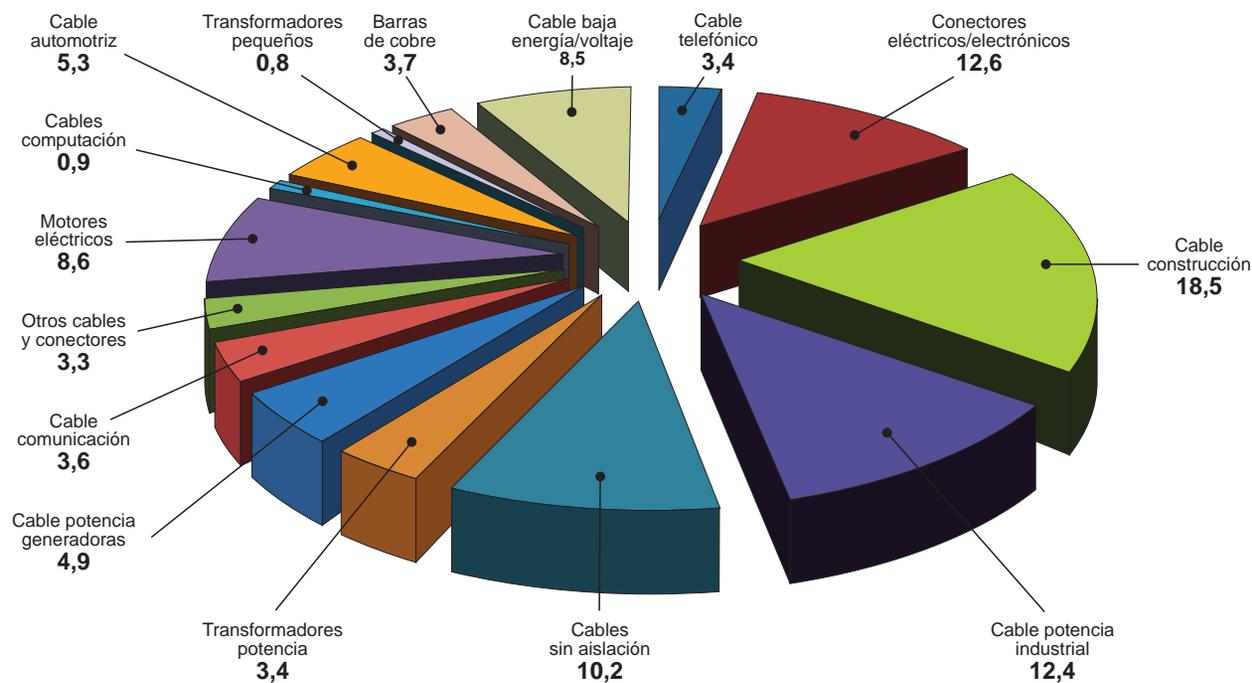


Figura 10. Usos eléctricos del cobre en porcentaje, 2007: 16,5 millones de toneladas
(Fuente: Commodity Research Unit (CRU), Londres, UK, 2008(CdM13))

Esto último, que puede parecer obvio, era fundamentalmente distinto hace tan sólo 25 años, ya que los automóviles de venta masiva no usaban ventanas, espejos, cierres y otras funciones automáticas, no tenían computadores ni aire acondicionado a bordo, y sus motores tenían una tecnología accesible a los aficionados a la mecánica.

En la actualidad es prácticamente imposible para los usuarios reparar aspectos básicos del motor y de otros sistemas de un automóvil, ya que estos son accesibles sólo mediante los computadores de los fabricantes. Ello resalta que el proceso de automatización progresivo que ha ocurrido en los últimos 25 años en todas las esferas de la industria y la sociedad ha favorecido el uso de tecnologías electrónicas y eléctricas, y por ende, ha significado un aumento muy significativo del uso del cobre. Incluso en la esfera de las comunicaciones, la fabricación de la fibra óptica⁽¹⁶⁾ en la década de los años 70 auguró el fin del uso del cobre en esta aplicación.

Pero ello no ocurrió, ya que, por una parte la industria del cobre desarrolló cables de cobre que podían transmitir millones de señales telefónicas simultáneas⁽¹⁷⁾, compitiendo con la fibra óptica. Por ello los cableados de menos de 100 metros utilizados en casas y edificios, a una fracción del precio de la fibra óptica, son los que predominan en la actualidad en el mundo. La carrera tecnológica entre el cobre y la fibra óptica sigue adelante y ha significado contar con insumos cada vez más eficientes y confiables para las comunicaciones.

La International Copper Association, ICA, institución con casa matriz en Nueva York, con sedes en muchos países del mundo y financiada por las más grandes empresas productoras y semi manufactureras de cobre del mundo, ha impulsado en los últimos 10 años programas para desarrollar tecnologías de cobre que sean más eficientes en el uso y transmisión de la energía eléctrica, en las telecomunicaciones y en varios ámbitos de la tecnología que hacen al cobre un material más sustentable globalmente.

(16) En 1966 los investigadores Charles Kao y G. A. Hockham, de los laboratorios de Standard Telecommunications en Inglaterra, comunicaron que habían logrado usar la fibra óptica para transmitir mensajes telefónicos.

(17) Esto se logra mediante el aumento del ancho de banda, el que ha aumentado para cables de cobre hasta 10 Giga bits por segundo, es decir 10 mil millones de bits por segundo. Un bit es una señal simple que tiene dos valores, cero y uno, y mediante los que se construyen los números, palabras y signos que utilizamos.

La Guía de Innovación: tecnologías en nuevas aplicaciones del cobre (V.I.2) publicada en diciembre de 2007 por ICA describe en forma detallada los avances logrados y las tendencias tecnológicas que dominarán el futuro.

Algunos ejemplos de las tecnologías eléctricas avanzadas en cobre son:

- El rotor de cobre fundido para motores (CMR) el que permite reducir el uso de energía cerca de un 7% en motores de alta potencia es uno de los desarrollos más importantes, considerando que la electricidad utilizada en el funcionamiento de motores representa cerca del 40% del total de la electricidad usada en el mundo.
- La miniaturización de componentes de cobre en electrónica, en conectores, y en transmisión eléctrica en ámbitos diversos como los automóviles, computadores, y otros artefactos que usan cables, conectores eléctricos y circuitos integrados, es clave para la reducción del uso de energía, entre otras cosas, porque significa cada vez más el uso de menos cobre para dichas aplicaciones. En automóviles, por ejemplo, se ha logrado reducir a más de la mitad el grosor de los cables de cobre entre las diversas partes electrónicas y eléctricas.

Las aplicaciones no eléctricas del cobre

La Figura 11 muestra las aplicaciones no eléctricas del cobre, las que sufrieron las mayores pérdidas de mercado durante el auge de precios desde 2004 a 2008. Las cañerías de casa fueron el segmento más golpeado, seguido de las planchas para techos, cables para telecomunicaciones y radiadores de automóviles.

Estos dos últimos segmentos perdieron mercado frente a la fibra óptica y al aluminio, respectivamente, por temas de precio y de tecnología, mientras que los dos primeros segmentos, las cañerías y las planchas para techos, perdieron mercado frente a una diversidad de materiales, entre los que el plástico es el más importante, siendo el precio el factor fundamental de cambio.

Los usos eléctricos y los usos no eléctricos sumaron 24 millones de toneladas en 2007, lo que era 6 millones de toneladas más que el mercado del cobre que se contabiliza para estimar el precio en las bolsas de metales.

La razón de ello será explicada más adelante y obedece al hecho que este total incluye el cobre reciclado que está recirculando en el sistema y que no significa un aporte neto al mercado de los usos del cobre.

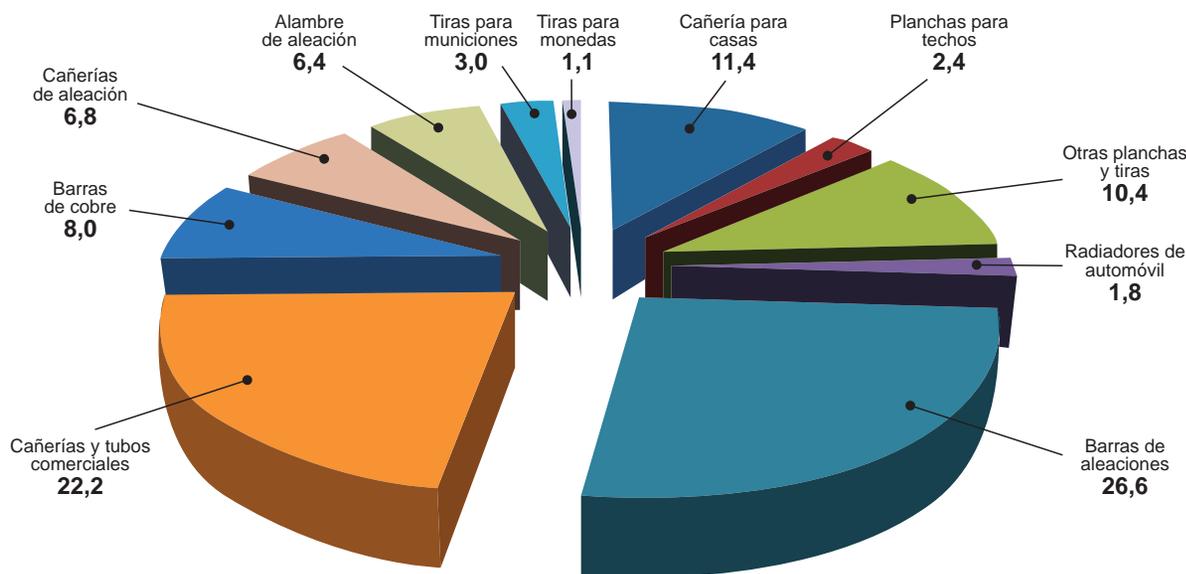


Figura 11: Usos no eléctricos del cobre en porcentaje, 2007, fueron 7,5 millones de toneladas (Fuente: Commodity Research Unit (CRU), Londres, UK, 2008(CdM14)).

Este cobre se llama reciclado primario o cobre nuevo, y tiene su ciclo casi completamente dentro de las compañías semi manufactureras de cobre y aquellas que fabrican bienes de consumo, mientras que el cobre que entra al mercado, y que es contabilizado para la estimación del precio, para ser usado en cañerías, refrigeradores, construcción y otras aplicaciones, vuelve al mercado al final de su vida útil.

Se estima que esta es 27 años en promedio, es decir, el cobre se demora este período en reaparecer en el mercado y estar disponible para ser reciclado. Este cobre se denomina reciclado secundario o cobre viejo.

Reciclaje

El cobre “nuevo” se origina, usualmente entre la semimanufactura y la producción de bienes de consumo y es el cobre que resultó como desecho de estos procesos. Este cobre se recicla en forma inmediata. Por otro lado los bienes de consumo entran al mercado y el cobre comienza a ser utilizado, hasta llegar al fin de la vida útil del producto. Una parte de este cobre es identificado, separado y transportado a la industria semimanufacturera, pasando a constituir la chatarra vieja o cobre secundario. Hay diversos tipos de chatarra secundaria, dependiendo de su pureza. El cobre menos puro debe refinarse nuevamente o bien ser utilizado para fabricar aleaciones.

El proceso de reciclaje tiene un costo que no es menor, aunque usa menos energía que la extracción de cobre de mina. Este es el motivo fundamental por el que no se recicla más cobre. Por ello, cuando baja el precio se hace no económico recuperar toda la chatarra disponible y baja el mercado de chatarra secundaria. Ello ocurrió a fines de 2008 y comienzos de 2009, por lo que los fabricantes de cañerías y de otros bienes han tenido que recurrir a la adquisición de cobre catódico para la totalidad de su proceso.

Sólo una pequeña fracción del cobre que se usa se dispersa en el ambiente, y este obviamente no es recuperable mediante reciclaje. Las estimaciones del cobre que se dispersa son del orden de 1% (Lagos, 2004) con respecto al total usado. No se cuenta como cobre disperso aquel que va a los botaderos o que ha sido abandonado en artefactos en diversas partes del planeta.



La industria del reciclaje tuvo fuertes cambios en los países desarrollados en la década de los 90. Mientras en 1970 sólo se reciclaba el 30 % del cobre viejo, en 1999 la eficiencia de reciclaje del metal (viejo) en algunos de estos países se acercaba a 40 %, empujada por las fuertes regulaciones ambientales. En contraste al cobre viejo, el cobre nuevo se recicla casi todo porque los procesos están diseñados para recuperarlo.

El plomo, siendo el metal bajo mayor presión para ser reciclado, ha alcanzado tasas de cerca de 70 % de reciclaje en los países desarrollados. La Unión Europea propicia en la actualidad una política de minimización de desechos que incluye una obligatoria y drástica reducción de los desechos industriales y domiciliarios, incentivos para los productores de menores desechos, normas de diseño y etiquetado para productos reciclables, adquisición de materiales reciclables por parte del gobierno, desarrollo de mercados de materiales reciclables, e incentivos para aquellos productores que asuman responsabilidades sobre el reciclaje de los productos.

Ello está incentivando a las empresas productoras de bienes de consumo a fabricar productos en que los materiales puedan ser recuperados fácilmente. Por ejemplo, la aislación plástica que tienen los cables de cobre debe ser separable mecánicamente sin problemas ya que ello evita procesos altamente contaminantes. Los motores deben ser desmontables de tal forma que se pueda recuperar las bovinas. Los fabricantes de celulares deberán diseñar circuitos que permitan una separación fácil de los diversos metales involucrados, etc.

¿Cuánto cobre se recicla?

La pregunta es ¿por qué si más del 40% del cobre viejo se recicla en los países avanzados, el cobre viejo reciclado representa sólo cerca de un 15% del mercado mundial? La Figura 12 muestra un “experimento pensado”. En 1973 el uso del cobre en el mundo fue 8,7 millones de toneladas. Supongamos que la vida media de este cobre era 27 años, y que todo el cobre terminaría su uso en el año 2000. Restemos la dispersión de 1%, quedando, teóricamente, disponibles 8,65 millones de toneladas en este año. Pero el uso del cobre en 2000 fue 15,1 millones de toneladas, por lo que incluso si se recuperara todo el cobre viejo, faltarían 6,45 millones de toneladas.

A esta cifra se le llama brecha de crecimiento del mercado o brecha generacional. El World Bureau of Metal Statistics señala que el cobre viejo reciclado en el año 2000 fue tan sólo 2,0 millones de toneladas. La producción de mina este año fue 13,2, lo que sumado al reciclaje de chatarra vieja suma el uso del cobre ese año. Es decir, se recicló un 23,1% del cobre viejo teóricamente disponible.

Las cifras publicadas respecto a reciclaje de cobre varían fuertemente debido a que son muy distintas dependiendo de las regiones de las que provienen y porque los métodos para estimar el reciclaje también son distintos. Si, por ejemplo, se incluye el cobre nuevo en el reciclaje, el que es casi 100%, obviamente el reciclaje de cobre a nivel mundial, con respecto al cobre disponible para reciclaje, sube a valores del orden de 60%. Por ello, mientras el uso de cobre del mundo aumenta año a año, hay amplio espacio para la producción de mina.

Por otro lado, mientras los procesos de recolección, separación, transporte y procesamiento del cobre viejo a las fuentes de uso siga siendo caro, no mejorará mucho la recuperación de chatarra vieja.

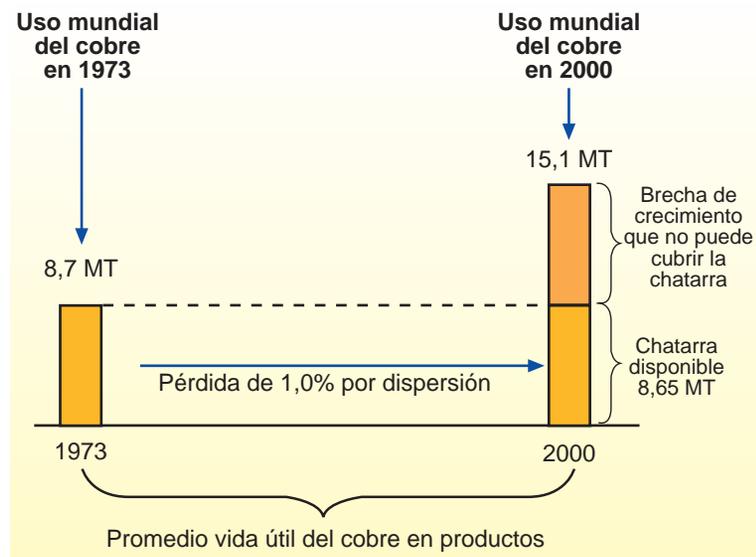


Figura 12. Ejemplo de brecha de reciclaje debido al crecimiento del mercado (MT: millones de toneladas(CdM15))

La sustitución

Ya se discutió anteriormente el precio como variable clave para la sustitución ya que si el cobre sube su precio más que los materiales competidores en el largo plazo, bien podría perder importantes segmentos del mercado. Ello no debería ocurrir a no mediar una escasez de oferta, la que, como se sugirió, no existiría.

La volatilidad del precio del cobre, es decir el nivel de variación en el tiempo también sería un factor que afectaría la decisión de fabricantes de productos. Por otra parte, la sustitución podría amenazar algunos productos específicos debido a la evolución de nuevas tecnologías en que el cobre es menos eficaz que los materiales competidores o en que sus propiedades son menos ventajosas.



Los mercados más amenazados por nuevas tecnologías, hasta 2007 eran los cables de telecomunicaciones y los radiadores de automóviles (CRU, 2008). En suma, en 2007 el cobre perdió cerca de un 3% del mercado frente a la sustitución y la gran mayoría de dichas pérdidas estuvieron causadas por el mayor costo frente a competidores.



Regulaciones para la salud y el medio ambiente

Las regulaciones ambientales del cobre son muy diversas:

- Normas de uso de cobre en aplicaciones tales como las instalaciones eléctricas, construcciones, suelos y otras.
- Normas de materiales que entran en contacto con agua potable y con alimentos.
- Emisiones.
- Peligrosidad de sustancias que contienen cobre, clasificación y etiquetado de sustancias.
- Normas sobre residuos.
- Normas de calidad ambiental: concentraciones máximas permisibles en el medio ambiente y en la salud.
- Normas del cobre como material higiénico.
- Normas del cobre como elemento esencial.

Este trabajo cubre fundamentalmente las normas de calidad ambiental, es decir las concentraciones máximas permisibles en el medio ambiente y en la salud. Algunos aspectos de las regulaciones sobre el cobre como material higiénico y como elemento esencial serán discutidos más adelante.

El avance de los estándares del agua potable

La ciencia ha contribuido a hacer que las regulaciones ambientales se tornen cada vez más estrictas, como lo indica la Tabla 4.

Tabla 4. Aumento de las exigencias regulatorias (CdM16) para el agua potable. Fuente: Tercera Edición de la Guía de Calidad del Agua Potable, OMS, 2004, y Guías de los años 1997, 1993 y 1984.

Valores guía de la OMS de algunas sustancias químicas inorgánicas con significación para la salud cuando están presentes en el agua potable, marzo 2009					
Elemento	1984 (ppm)	1993 (ppm)	1997 (ppm)	2002 (ppm)	Comentario
Antimonio (Sb)	sin valor guía	0,05 (P)	0,05 (P)	0,02	Carcinógeno
Arsénico (As)	0,5 (P)	0,01 (P)	0,01 (P)	0,01 (P)	Carcinógeno, guía provisional
Cadmio (Cd)	0,005	0,003	0,003	0,003	Carcinógeno
Cobre (Cu)	sin valor guía	2,0 (P)	2,0 (P)	2,0	Potenciales efectos crónicos en el hígado (1993); reemplazado en 2007 por mismo valor provisional pero por efectos agudos (náusea); en 2004 el valor es definitivo, debido a efectos agudos (náusea)
Mercurio total (Hg)	0,001	0,001	0,001	0,001	Mercurio total es el mercurio inorgánico y orgánico. Efectos neurológicos y renales, colapso cardiovascular.
Molibdeno (Mo)	sin valor guía	0,07	0,07	0,07	Elemento esencial, potencial toxicidad reproductiva y mutagénica.
Plomo (Pb)	0,05	0,01	0,01	0,01	Acumulativo en el organismo, efectos neurológicos, posible carcinógeno.

Aquí se muestra la Guía de la Organización Mundial de la Salud, OMS, para algunos metales de significación para la salud cuando están presentes en el agua potable. Se muestra los valores guías para el antimonio, arsénico, cadmio, cobre, mercurio, molibdeno y plomo. Todos ellos, con excepción del cobre, están regulados debido a evidencia o sospecha de evidencia de ser causantes de graves enfermedades y efectos en la salud humana. Se observa que en todos los casos menos para el mercurio, la regulación se hizo más estricta después de 1984.

Por ejemplo, en el caso del antimonio, el valor guía de 0,05 ppm fue introducido en 1993 y en 2004 fue reducido a 0,02 ppm. En el caso del antimonio, este valor no es provisional, lo que significa que hay evidencia científica que el antimonio en el agua potable, en concentraciones superiores al valor guía, genera cáncer en una cantidad que no es aceptable para la sociedad.

Esta cantidad es considerada por la OMS como un caso adicional por año entre cien mil que han sido expuestos a dicha agua contaminada.

La razón básica de las mayores exigencias de las normas en el tiempo es que las técnicas de análisis, así como la teoría estadística, los computadores para procesar los datos, y la ciencia y técnicas médicas para estudiar los efectos, se han ido haciendo más poderosos.

Otra causa del progreso es porque se han destinado muchos más recursos en los últimos 30 años para estudiar las causas de la contaminación y sus efectos que nunca antes en la historia humana. Así como la ciencia ha generado progreso en las guías para el agua potable, también se ha avanzado enormemente en los estándares para aguas superficiales, subterráneas y marinas, para los suelos, para el aire, y para la flora y la fauna.

La Organización Mundial de la Salud y la Agencia Ambiental de los Estados Unidos

Muchos avances han ocurrido desde que el 7 de Junio de 1991, la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (EPA) publicara en el Registro Federal la célebre norma del “cobre y del plomo”, definiendo al cobre como elemento contaminante del agua potable, cuyo exceso generaba efectos gastrointestinales tales como náusea, vómitos, o incluso diarrea. Esta decisión - que culminaba un proceso iniciado 5 años antes con la modificación de la ley del “Agua Limpia” - probaría ser de gran influencia para el cobre, no sólo en los Estados Unidos, sino también en Europa y en el resto del mundo.

En ese mismo año, un comité de especialistas de la Organización Mundial de la Salud, OMS, colocaba al cobre, por primera vez, en una lista de elementos que cuando están presentes en el agua potable producen efectos a la salud. Aunque esta clasificación, que fue finalmente publicada en 1993, tenía el carácter de provisoria debido a la falta de evidencia científica, colocaba al cobre junto a algunos de los metales más tóxicos conocidos como el plomo, el mercurio, el cadmio, y el arsénico. Las razones de la OMS eran mucho más graves que las dadas por la EPA, ya que suponían que el exceso de cobre en el agua potable generaba cirrosis hepática en niños⁽¹⁶⁾ menores de un año, pudiendo incluso conducir a la muerte de estos.

La EPA, así como la OMS, sindicaban las cañerías de cobre instaladas en casas y edificios como las responsables de generar altas concentraciones de cobre. Este aspecto será abordado más adelante. Tanto Chile como la Industria Mundial del Cobre, fueron sorprendidos por esta decisión de la OMS, la que tenía, potencialmente, alto impacto en el mercado futuro y en la imagen misma del cobre.

Como resultado de estos hechos, en 1994, el Gobierno Chileno, mediante el Ministerio de Salud, solicitó a la OMS la revisión de la norma y se creó una Comisión Asesora Presidencial, que seguía en funcionamiento en 2009. Otorgó un presupuesto a la Comisión y le asignó la misión de asesorar al Presidente de la República en las negociaciones internacionales relativas al tema del cobre en el agua potable. Debía además velar porque se hicieran las investigaciones que fueran necesarias para dilucidar los efectos del cobre en la salud del ser humano.

La industria mundial del cobre, a través de la International Copper Association, ICA, por otra parte, incrementó fuertemente su presupuesto de investigación sobre los efectos del cobre en la salud y en el medio ambiente.

Lo que quedó claro desde el inicio es que para tener capacidad negociadora debía haber detrás una sólida posición científica. Entonces, en 1994, había poco acuerdo a nivel mundial sobre cuanto contribuían las cañerías de cobre, y bajo qué condiciones, a generar altas concentraciones de cobre en el agua potable. Tampoco había conocimiento en profundidad sobre efectos gastrointestinales ni menos sobre los potenciales efectos hepáticos. Estaba casi todo por hacerse.



(16) A este mal se le denominó toxicosis idiopática de cobre (ICT)

Las investigaciones que cambiaron la Guía de la OMS

A quince años de haberse iniciado esta era del cobre y la salud, se ha avanzado enormemente en el conocimiento del tema, pero aún se está muy lejos de poder responder todas las preguntas, como ocurre normalmente en la ciencia.

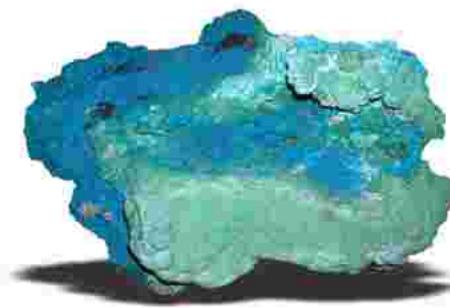
Los hitos más importantes de los avances que se generaron desde entonces son:

- En 1996 un panel de expertos del IPCS (Programa Internacional de Seguridad Química, formado por la OMS, la FAO y la OIT), decidió que no había evidencia científica que relacionara el cobre contenido en el agua potable con daños hepáticos en los niños menores.
- Esta conclusión fue adoptada por la OMS en 1997, lo que cambió el motivo de la clasificación de 1993, utilizando esta vez los efectos gastrointestinales como causal, aunque este valor quedó en carácter de provisional. Esto significó un avance ya que estos efectos son leves y enteramente reversibles, mientras que la cirrosis hepática es un efecto grave.
- La Unión Europea, por su parte, cambió su norma de agua siguiendo los pasos de la OMS. De esta forma, el cobre quedó clasificado debido a los efectos gastrointestinales por la EPA, la Unión Europea y la OMS. Esta última quedó a la espera de los estudios que generaría Chile y la ICA para determinar exactamente el valor guía del cobre (ver Tabla 4).
- Con la nueva evidencia científica publicada por científicos chilenos, de los Estados Unidos, Irlanda y China, en 2004 la OMS culminó el nuevo proceso de revisión de la Guía del agua potable y concluyó que el nivel de 2 mg/L de cobre en el agua potable (ver Tabla 4) no generaba efectos gastrointestinales. Fijó la guía del cobre en este nivel y eliminó el carácter provisional de dicho valor.

Entre los años 1996 y el 2004 la Organización Mundial de la Salud ordenó realizar una serie de estudios científicos que concluyeron que el nuevo proceso de revisión de la Guía del agua potable afirmaba que el nivel de 2 mg/l. de cobre en el agua potable no generaba efectos gastrointestinales.

El cobre, elemento esencial para la vida

El hierro (Bodwell et al., 1988), zinc, cobre, cromo, yodo, cobalto, molibdeno y selenio fueron declarados como elementos traza esenciales (ETE) por la Organización Mundial de la Salud en 2002 (Environmental Health Criteria, 2002).



Ello, como resultado de un proceso en que el hierro había sido declarado esencial en 1988 y el selenio en 1996, y en que las propiedades y características de todos los elementos de la lista cumplían con rigurosos criterios. A ello contribuyó en forma clave el Gobierno de Chile, el que organizó la reunión que culminó con la preparación de las bases de esta resolución, en Marbella, Chile en febrero 2001.

Cuando los seres humanos, y también otros organismos vivos, desarrollan un déficit de ETE, se genera efectos sub clínicos, medibles mediante biomarcadores. Cuando el déficit aumenta se desarrollan efectos clínicos reconocibles, y cuando sobrepasa ciertos límites, se produce la muerte. Por otro lado, cuando hay exceso y el organismo no puede eliminar estos elementos, se produce toxicidad.

Los ETE son elementos que existen naturalmente en la corteza terrestre, y, en consecuencia, están contenidos en los alimentos y en el agua, en mayor o menor medida. Por ello, los seres humanos, así como otras especies, ingieren y excretan ETE diariamente. Si la ingestión es insuficiente, se desarrolla deficiencia, en cambio si es excesiva se desarrolla toxicidad. El organismo humano tiene, eso sí, un mecanismo que permite regular la absorción de ETE⁽¹⁹⁾. Cuando la ingestión es enorme, hay menos absorción y lo contrario ocurre cuando hay déficit de ingestión de ETE.

La OMS declaró a estos elementos como esenciales porque la ventana entre deficiencia y toxicidad era muy reducida en algunos casos, por lo que no era posible aplicar los factores de seguridad, los que son usualmente 10 ó más veces, en las normas ambientales, ya que ello podía inducir a la deficiencia. La Figura 13 muestra en el eje horizontal la concentración de cobre y en el eje vertical el número de individuos afectados por la deficiencia o toxicidad. Estas curvas son genéricas para todos los elementos esenciales, y la curva de deficiencia es usualmente distinta en forma y alcance que la curva de toxicidad.

(19) Se denomina homeostasis

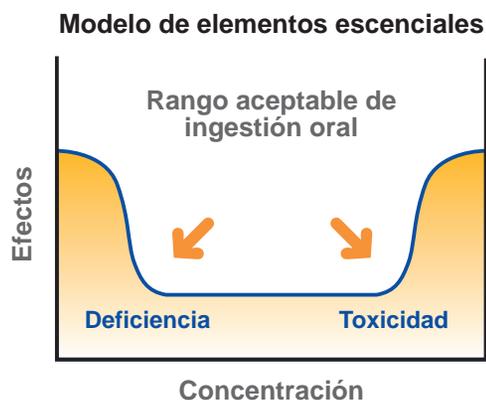


Figura 13. Curva genérica de deficiencia, toxicidad y rango aceptable de ingestión oral para un elemento esencial .

De hecho el Programa Internacional de Seguridad Química, IPCS, (1998) indica que los casos de deficiencia de cobre son mucho más comunes que los casos de toxicidad.

El espacio que existe en la Figura 13 entre la curva de la izquierda (deficiencia) y de la derecha, toxicidad, se denomina Rango Aceptable de Ingestión Oral (AROI). Cuando la ingestión diaria es menor que lo indicado por la curva de la izquierda, se genera deficiencia, y cuando es mayor que la curva de la derecha, se genera toxicidad. Por ello es que la forma de estimar la dosis máxima ingerible en forma segura debe tener en cuenta si el elemento es esencial, de otra forma, si el factor de seguridad es muy grande, puede ingresarse en la zona de deficiencia.

En la próxima sección se discutirá la toxicidad del cobre. En cuanto a la deficiencia, en varones adultos la recomendación de ingestión mínima de cobre de la OMS es 0,81 mg/día (WHO, 1996), mientras que la dosis máxima segura es 12 mg/día. En mujeres la dosis total es levemente menor debido a que su peso corporal es menor en promedio. La mayor parte de esta dosis es ingerida en los alimentos, mientras que el agua potable puede contribuir desde 0,05 mg/día en el caso de agua prístina transportada en cañerías que no sean de cobre hasta un promedio de 0,4 mg/día si hay cañerías de cobre instaladas en la casa.

El contenido de cobre de los alimentos varía fuertemente, siendo mayor en carnes de vacuno que en vegetales y frutas. Los más altos contenidos de cobre en alimentos en Chile están en la pana de vaca, almendras, nueces, colacao, porotos tórtola, lentejas, maní, y camarones (Olivares, 2003).

Las mayores patologías de la deficiencia de cobre en animales y en humanos son anemia, neutropenia, hipo pigmentación del pelo y de la piel, malformaciones óseas con fragilidad esquelética y osteoporosis, anomalías vasculares y pelo tieso (WHO, 1996).

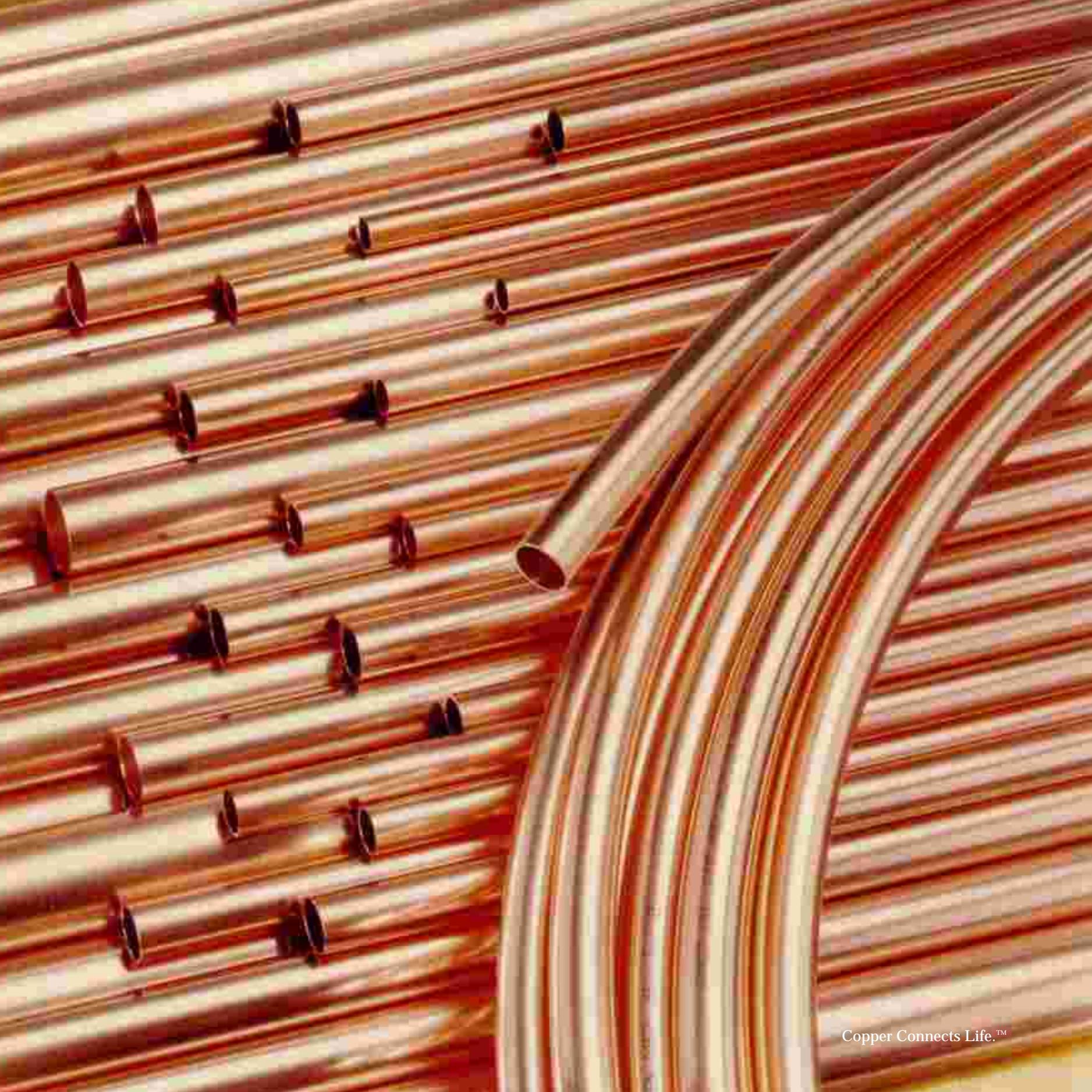
Otras especies también ingieren cobre en alimentos y agua. Las plantas, asimilan el metal contenido en el agua de los suelos por absorción activa a través de las raíces. "Organismos más simples de vida acuática pueden absorber el cobre y otros metales directamente desde el agua que los rodea" (Torres, 2002).

Las cañerías de cobre y su rol en la salud y en el medio ambiente

Se estima que cerca de 200 millones de casas en el mundo tienen instalaciones de cañerías de cobre para abastecer el agua potable desde la red pública. Ello comprende una población estimada de cerca de 700 millones de personas, lo que representa aproximadamente un 11% de la población mundial.

Cuando el agua potable está en contacto con una cañería de cobre, pequeñas cantidades de este metal se liberan al agua potable. La cantidad que se acumula en el agua depende del tiempo en que el agua está sin circular (estagnación), de la composición del agua y de la temperatura. Las aguas "agresivas" para el cobre generan una mayor liberación del metal, lo que puede generar mal gusto para los consumidores, y también generar efectos como la náusea y el vómito, cuando la concentración del agua alcanza 4 ó más miligramos por litro.

El efecto no es tan sencillo de calibrar ya que depende de la sensibilidad de los consumidores, así como de si estos están en ayunas (lo que aumenta el efecto) o si el agua está mezclada con jugos, café u otras bebidas (lo que reduce el efecto). El resultado es transitorio, durando desde unos pocos minutos a unas pocas horas, después de lo cual los individuos afectados vuelven a la normalidad. En general se conocen los lugares en que el agua puede llegar a generar altas concentraciones de cobre cuando hay cañerías de este metal.



Copper Connects Life.™

Por ello, hay, básicamente, dos enfoques regulatorios. Uno, encabezado por los Estados Unidos, el que trata el agua agresiva para hacerla menos agresiva y prevenir altas concentraciones de hierro, cobre y plomo, logrando importantes éxitos desde comienzos de la década de los 90. Eso sí a un costo alto para los consumidores. El otro enfoque, es el utilizado por Alemania, la que prohíbe el uso del cobre en cañerías en lugares en donde el agua es agresiva. El problema consiste, en este caso, predecir qué aguas son agresivas, para lo que se ha desarrollado un complejo modelo predictivo⁽²⁰⁾, el que estará en uso desde fines de la presente década. Hasta fines de los 90, se estimaba que cerca del cinco por ciento del territorio de Alemania tenía aguas agresivas para el cobre. Muchos países, sin embargo, no tienen ni uno ni otro enfoque, tal vez porque los casos de aguas agresivas no son abundantes.

Ello representa cerca del 0,1 por ciento del uso mundial de cobre cada año. De acuerdo a cifras del European Copper Institute, cerca del 90% de las aguas de casas en Europa son tratadas en plantas de aguas servidas, mientras que el 11% se descarga en aguas superficiales. Los metales, incluido el cobre, contenidos en las aguas tratadas, usualmente se añade como fertilizante a suelos que carecen de cobre, con objeto de elevar su productividad agrícola.

Los beneficios de utilizar cañerías de cobre en la conducción de agua tienen que ver con la duración de las cañerías, su confiabilidad y baja necesidad de mantención, y con la propiedad bactericida de la que goza el cobre que permite que el uso de dicho metal prevenga la propagación de bacterias y virus que constituyen una seria amenaza a la salud.



Aunque las estadísticas de reclamos de los consumidores por esta causa no son confiables. Año a año sólo hay registro de unas pocas decenas de estos casos, casi todos provenientes de las mismas regiones en donde se habían registrado casos previos. Las empresas fabricantes de cañerías han desarrollado tecnologías diversas para reducir la liberación de cobre al agua potable y se han alcanzado importantes logros en las últimas tres décadas. Sin embargo, no hay aún una solución definitiva para este tema. La exposición humana a altos contenidos de cobre en el agua potable no es una preocupación en el mundo, como lo demuestran diversos estudios (Lagos, 1999; Xu, 2006, etc.), y como ya se comentó en la sección sobre los elementos esenciales.

Por otra parte, las emisiones de cobre a partir de las cañerías de dicho metal terminan en las aguas superficiales, en los suelos y en los sedimentos, como lo indica conceptualmente la Figura 14. Se estimó que los 200 millones de casas y edificios que tienen cañerías de cobre emiten cerca de 15 mil toneladas por año en el agua que va a las plantas de tratamiento de aguas servidas.

Ha sido sustanciada la efectividad de las cañerías de cobre en abatir la presencia de infecciones de preocupación pública tales como: *Legionella pneumophila* presente en las cañerías, tanques y sistemas de enfriamiento; *methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA)*; *Escherichia coli O157 (E coli O157)*; *Listeria monocytogenes*; y *Verocytotoxigenic Escherichia coli (VTEC) O157*. El cloro y otros agentes desinfectantes del agua potable no son efectivos en la eliminación de estas bacterias.

La competencia que existe entre las industrias de plástico y de cobre por el mercado de cañerías ha llevado a las primeras a realizar numerosos estudios que sugieren que las cañerías de cobre no son efectivas bajo determinadas condiciones. Ello ha entorpecido el que organismos regulatorios reconozcan los beneficios de las cañerías de cobre como agentes higiénicos.

(20) El desarrollo de este modelo ha sido financiado por ICA y por la CTA de Chile.

Concentración de cobre en el medio ambiente

La Tabla 5 muestra algunas de las regulaciones más importantes del cobre en aguas superficiales, subterráneas, potable, aire, suelos y sedimentos. Entre todas estas normas o estándares, el único verdaderamente universal es la norma del agua potable, la que fue discutida en la sección sobre las cañerías de cobre. Este estándar se aplica prácticamente en todo el mundo salvo en los Estados Unidos y en China, en donde el estándar podría ser más o menos exigente dependiendo de las mediciones realizadas en terreno⁽²¹⁾. Este aspecto ya fue discutido anteriormente.

Por ello, las especies acuáticas más sensibles están bien estudiadas y se repiten en diversas ubicaciones del mundo, aunque muchas veces se encuentran variaciones genéticas, aunque leves, entre las especies de un lugar y otro.

Hasta 2008 muchas naciones, incluidos todos los países latinoamericanos, no usaban la norma de la EPA, y la mayor parte de ellos aplicaba un estándar basado en el cobre total que hay en el agua. Se ha demostrado, sin embargo, que el cobre total⁽²²⁾ no guarda relación alguna con la toxicidad de este metal para organismos acuáticos.

Algunas normas ambientales para el cobre en agua, suelos, aire y sedimentos

Aguas superficiales (µg/L)	3,0 a >100	La toxicidad del cobre para organismos acuáticos depende de organismos y de la composición del agua. Por ello el estándar del cobre se regula mediante el Modelo de Ligando Biótico (BLM) en los Estados Unidos.
Aguas subterráneas (µg/L)	2,5	Legislación Federal de Canadá, Soil, Ground Water and Sediment Standards for Use Under Part XV.1 of the Environmental Protection Act, March 9, 2004, http://www.ene.gov.on.ca/envision/gp/4697e.pdf
Agua potable (mg/L)	2,0	OMS, Nivel Guía recomendado por la OMS, 2004
Aire en lugares de trabajo (mg/m ³)	0,1	Occupational Safety and Health Administration, OSHA, 2009, Section 6 - VI. Health Effects Discussion and Determination of Final PEL (Permissible exposure level), http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=PREAMBLES&p_id=770
Suelos A, nivel de background (mg/kg peso seco)	50	Guías de Holanda para el cobre en el suelo, Soils and the Environment, S.Ellis and a. Mellor, Routledge, London, 1995
Suelos B, nivel para ser investigado (mg/kg peso seco)	100	Guías de Holanda para el cobre en el suelo, Soils and the Environment, S.Ellis and a. Mellor, Routledge, London, 1995
Suelos C, valor para tomar acción (mg/kg peso seco)	500	Guías de Holanda para el cobre en el suelo, Soils and the Environment, S.Ellis and a. Mellor, Routledge, London, 1995
Suelos Agrícolas (mg/kg peso seco)	56	Legislación Federal de Canadá, Soil, Ground Water and Sediment Standards for Use Under Part XV.1 of the Environmental Protection Act, March 9, 2004, http://www.ene.gov.on.ca/envision/gp/4697e.pdf
Todos los otros suelos (mg/kg peso seco)	85	Legislación Federal de Canadá, Soil, Ground Water and Sediment Standards for Use Under Part XV.1 of the Environmental Protection Act, March 9, 2004, http://www.ene.gov.on.ca/envision/gp/4697e.pdf
Sedimentos (mg/kg peso seco)	16	Legislación Federal de Canadá, Soil, Ground Water and Sediment Standards for Use Under Part XV.1 of the Environmental Protection Act, March 9, 2004, http://www.ene.gov.on.ca/envision/gp/4697e.pdf

Tabla 5. Algunos estándares para el cobre en el agua, en el aire, en el suelo, y en sedimentos

Los otros estándares de la Tabla 5 no son universales, aunque el estándar de cobre en aguas superficiales utilizado por la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (EPA), podría aplicarse universalmente, y posiblemente así será en el futuro. Este es un estándar complejo, que parte del principio de que sólo una fracción del cobre presente en las aguas superficiales está biodisponible. Los estándares de protección de los organismos acuáticos se colocan como objetivo proteger al 95% de las especies presentes en un lugar determinado.

Más adelante se analizará en mayor detalle el Modelo de Ligando Biótico, que dio origen a la actual regulación de varios metales en aguas superficiales por parte de la EPA. La misma práctica de cobre total era aplicada por prácticamente todos los países del mundo en 2008 para regulación de metales en suelos y sedimentos, por lo que el concepto de biodisponibilidad no se aplicaba en estos medios tampoco.

(21) En los Estados Unidos se mide la concentración de cobre en las llaves de las casas abastecidas por una determinada empresa de agua potable, después de 6 horas de estagnación del agua. Posteriormente se listan todas las mediciones de menor a mayor concentración. La casa en que la medición fue mayor puede sobrepasar 1,3, e incluso 2 mg/L. La norma indica que la casa que está en el 90% más alto de la distribución no debe exceder 1,3 mg/L. Si excede este valor, la empresa de agua potable que abastece agua a dicha casa debe tomar las medidas para que el agua abastecida sea menos agresiva al cobre, y también a otros metales como el hierro y el plomo.

(22) El que es igual al cobre disuelto más el cobre particulado

Ello resultaba en que los estándares de suelos y sedimentos eran muy variables en el mundo, ya que dependen de la composición de los suelos y sedimentos, la que, obviamente, es cambiante, dependiendo de la geología del lugar. Adicionalmente, se observa en la Tabla 5 que Canadá aplicaba en 2004 un estándar para sedimentos de 16 mg/kg peso seco al cobre, siendo que la composición promedio de la corteza terrestre en cobre es considerada como 68 mg/kg peso seco.

Finalmente, el cobre no está regulado en el aire, salvo en lugares de trabajo en que la exposición de cobre pueda ser superior a las concentraciones encontradas en el ambiente. El estándar de 0,1 mg/m³ de cobre para el aire, fue establecido por OSHA⁽²³⁾ (OSHA, 2009) y está basado en estudios de toxicidad por humos de soldadura eléctrica y de oxiacetileno de acero inoxidable, cadmio, cobre, níquel y cromo.

Los humos de soldadura consisten en óxidos metálicos que son causados al calentarse el metal en aire. Exposición a estos humos puede producir una variedad de desórdenes, específicamente, "fiebre de humo de soldadura". Esta manifestación consiste en síntomas de gripe, incluyendo tos, dolores musculares y de las articulaciones, fiebre y escalofríos. El efecto es reversible en lapsos de uno a dos días.

Línea base natural y aportes antropogénicos

La línea base de un elemento o compuesto químico en uno de los componentes del medio ambiente, por ejemplo en el aire o en el agua, se refiere a una medición realizada en un momento, usualmente previo a la intervención del lugar por una actividad industrial u otra. Por otro lado y considerando la evidencia de los glaciares (Suming Hong et. Al., 1996), es posible que no queden sitios libres de la influencia del hombre en el mundo. Por ello, usualmente, se adopta como referencia, sitios que son prístinos y que presentan poca evidencia de intervención. Las mediciones realizadas en estos lugares se denominarán línea base o "background".

La Figura 14 muestra la circulación del cobre antropogénico, es decir el cobre emitido al ambiente por actividades humanas. Se observa que el metal emitido proviene de dos tipos de fuentes. Las actividades industriales, las minas de cobre y de otros metales⁽²⁴⁾, la producción de energía y otras actividades.

Un segundo tipo de fuentes son los productos de cobre, tales como cañerías, cables eléctricos sin cubierta, techos, fertilizantes, pinturas, balatas de freno, automóviles, teléfonos celulares, etc.

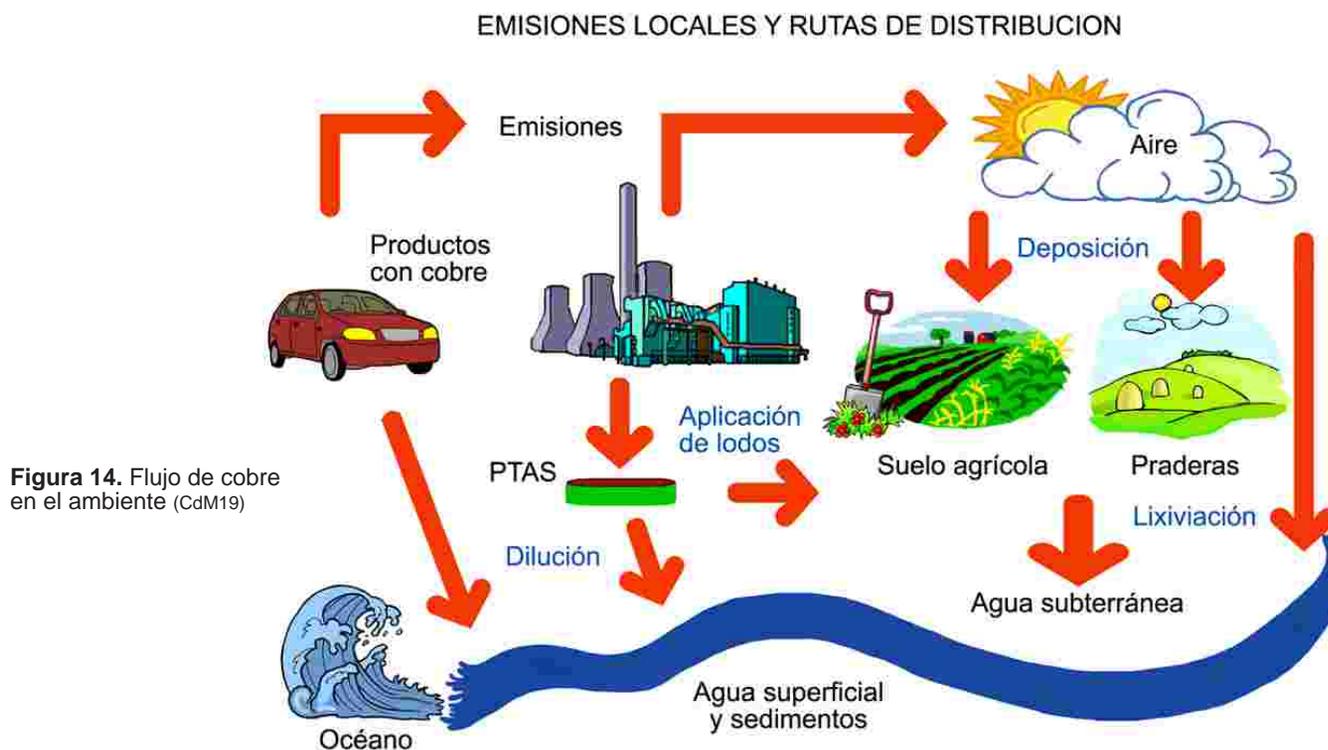


Figura 14. Flujo de cobre en el ambiente (CdM19)

(23) Occupational Safety and Health Administration de los Estados Unidos.

(24) Las minas de otros metales y materiales, también contienen cobre, claro que en concentraciones menores que los yacimientos de cobre.

Los estudios de largos períodos muestran que cuando el suelo se va cargando de cobre, retiene una parte del metal, mientras que el resto del metal termina ya sea en aguas subterráneas, cursos de aguas superficiales, plantas y animales.

El cobre que queda en el suelo, usualmente, no es disuelto, y por ello no ha sido lavado. Por ello, tan sólo una fracción del metal está, usualmente, biodisponible⁽²⁵⁾, es decir no es absorbible por plantas y la flora en general. De aquí que la concentración total de cobre y otros metales en el suelo, no es un buen indicador de toxicidad ni de biodisponibilidad. Entonces, el suelo acumula metal, pero la concentración de cobre residual depende de la composición del suelo, ya que si esta posibilita la disolución de metales, la acumulación puede ser nula. Como contraparte, un suelo que acumula mucho metal puede indicar que dicho metal no es soluble, y por ende es inocuo para especies de flora y fauna.

Entonces, si no todo el cobre permanece en el suelo, ¿dónde va a parar el cobre que entra en el ambiente?, ¿cuál es su destino final? Ciertamente no es el aire, ya que todo el cobre que está en el aire⁽²⁶⁾ tiende a precipitar en algún momento, ya sea en el suelo, cursos de agua y en océanos. Por otra parte, el cobre en el agua, permanece en esta sólo si es soluble, siempre que no reaccione con los sedimentos.



Se ha demostrado que si los sedimentos contienen sulfuros de hierro⁽²⁷⁾, el cobre soluble del agua se intercambia, mediante un proceso electroquímico natural, con dicho metal, quedando el hierro como metal soluble en el agua, mientras que el cobre queda “atrapado” como sulfuro de cobre, en el sedimento. Por otra parte, el cobre particulado tiende a sedimentar en el largo plazo. En definitiva, el destino final del cobre son los sedimentos de cursos de agua, así como los sedimentos marinos. Poco después de 2000 se comenzó a desarrollar, por parte de investigadores en los Estados Unidos, un modelo que da cuenta del destino del cobre y de otros metales en el ambiente. Este modelo se denomina Modelo Unitario del Mundo (Unit World Model, 2008).

(23) Occupational Safety and Health Administration de los Estados Unidos.

(24) Las minas de otros metales y materiales, también contienen cobre, claro que en concentraciones menores que los yacimientos de cobre.

(25) La fracción biodisponible debe estar disuelta, de ahí que el bre no soluble no está biodisponible. Otra forma de explicar este fenómeno es que la absorción de metales por parte de la flora se produce mediante el agua que contiene metales disueltos. Sin agua no hay absorción, y tampoco hay flora.

(26) Llega al aire el cobre levantado del suelo por acción del viento, el polvo cósmico, y otras fuentes indicadas en la Figura 2, además de las emisiones industriales que emiten partículas que contienen cobre, y de los productos de cobre que llegan al aire tales como las balatas de automóviles.

(27) Este tipo de sedimentos son bastante comunes en fondos marinos y de cursos de aguas continentales.

(28) Un nanógramo es una millonésima de miligramo. Un miligramo es una milésima de gramo.

(29) Ríos y lagos

La concentración de cobre en el medio ambiente

La tabla 5 muestra concentraciones promedio de cobre medidas en Europa. Es importante establecer que dichas concentraciones no son representativas de todo el continente europeo, sino que representan un número grande de mediciones realizadas en diversos lugares. Inmediatamente se observa que la concentración de cobre en el aire es muy pequeña, por cuanto es una fracción pequeña de nanogramos⁽²⁸⁾ por metro cúbico.

La concentración de aguas superficiales⁽²⁹⁾ es 3,1 microgramo por litro, es decir unas diez veces menos que la concentración promedio del agua potable cuando no hay cañerías de cobre y unas cien veces menos que la concentración de cobre a la salida de casa que tienen cañerías de cobre. La concentración de cobre medida en sedimentos es casi igual a la concentración de cobre que se estima tiene la corteza terrestre.

La concentración de cobre de suelos agrícolas medidos es un 25% más alta que la concentración de suelos naturales, debido a los abonos que se adicionan para hacer el suelo agrícola más productivo. Y los suelos medidos en zonas industriales contienen poco más del doble de cobre que los suelos naturales.

Por otra parte, se ha medido el cobre en suelos río abajo de zonas mineras, y se ha encontrado que en algunos casos la concentración de este metal puede superar diez y más veces la concentración de cobre de “zonas naturales”. Ello se debe a residuos mineros y a zonas que se han explotado en el pasado y que al entrar en contacto con el agua de lluvias y deshielos, incorporan cobre a las aguas. En estos casos, sin embargo, se ha comprobado que el aporte metálico ocurre fundamentalmente, como cobre no soluble, el que no reacciona con el medio ambiente (Ginocchio et al, 2002).

En la actualidad muchas de las grandes minas de cobre del mundo que pueden generar incorporación de cobre a los cursos de agua, tienen plantas de tratamiento, en donde, usualmente, se recupera el cobre que han incorporado las aguas. Este es el caso, por ejemplo, de las Minas de El Teniente de Codelco Chile y de Los Bronces, de propiedad de Anglo American. Ambos yacimientos están ubicados en la alta cordillera en la región central de Chile, por lo que hay abundante lluvia y deshielos durante el año. En otros casos, las minas están ubicadas en el desierto, y su vulnerabilidad ambiental consiste en la escasez de agua, más que en el exceso.

Concentraciones de cobre en el ambiente	
Aire rural (n/m ³) ³⁰	< 10
Agua superficial (disuelto) (µg/L)	3,1
Agua potable que no ha pasado por cañerías de cobre (µg /L) ³¹	29
Sedimentos (mg/kg/ peso seco)	64,1
Suelo agrícola ((mg/kg peso seco)	34,9
Suelo natural (mg/kg peso seco)	27,4
Suelo industrial (mg/kg peso seco)	49 - 72,5

Tabla 5. Concentraciones de cobre en el ambiente en Europa, medidas por encargo del European Copper Institute (2004)

Fuente: European Copper Institute (CdM19)

Emisiones a partir de productos de cobre

La Tabla 6 muestra una estimación de emisiones a partir de productos de cobre, realizada a partir de información obtenida por el European Copper Institute en 2004 para Europa y por la Agencia Ambiental de los Estados Unidos en 1984. Las cifras Europeas del ECI, así como las cifras de la USEPA se han extrapolado al mundo.

Tal como ya se indicó, cerca del 90% de las emisiones de cobre a partir de las aguas domiciliarias son tratadas en plantas de tratamiento de aguas servidas, las que precipitan los metales en lodos y posteriormente venden estos como fertilizantes para suelos o bien disponen de dichos lodos. Por ello, cerca del 10% de las emisiones de cobre domiciliarias van directamente al medio ambiente.

Para tener como referencia, el total de cobre emitido por los seres humanos en el mundo, tanto en la orina como en las deposiciones, son del orden de 4.000 toneladas anuales (CdM21), considerando que cada persona ingiere y excreta entre 1,5 y 2,0 mg/día de cobre. Habría que estimar que las emisiones de cobre generadas por animales, pájaros y otros seres vivos, exceden con creces aquella de los seres humanos. Tal como indica la Tabla 6, se estima que las emisiones a partir de productos de cobre habrían representado un 0,24% con respecto al uso total del cobre en el año 2004.

Productos	Emisiones 2004 (toneladas/año)
Cañerías de agua	17.520 las que se distribuyen: 1.930 → aguas superficiales 15.590 → Plantas de aguas servidas (lodos) → fertilizantes
Construcciones (externas) ³²	6.888 → agua
Radiadores automóviles ³³	235 → agua
Alambre contacto trenes ³⁴	588 → aire → suelo
Sustancias químicas para protección de plantas ³⁵	8.719 → suelo
Alimento para animales ³⁶	3.007 → suelo
Balatas de automóviles ³⁷	2.285 → aire → suelo
Preservantes de madera ³⁸	101 → aire - agua - suelo
Pinturas	487 → aire - agua - suelo
Total de emisiones a partir de productos (toneladas)	39.830
Porcentaje de emisiones a partir de productos de cobre con respecto al uso del cobre en 2004 en el mundo	0,24

Tabla 6. Emisiones generadas a partir de productos de cobre y destino más probable de dichas emisiones.

Fuente: Estimaciones Centro de Minería, PUC, Santiago, Chile, 2009 (CdM20).

Ahora, si se compara esta emisión con el total de cobre en uso en el mundo, las que eran cerca de 210 millones de toneladas a fines del siglo XX (ver Tabla 2), las emisiones a partir de productos son 0,02% por año.

El Modelo de Ligando Biótico

El Modelo de Ligando Biótico se basa en que los metales disueltos en el agua tienden a asociarse con otros compuestos químicos también presentes, denominados ligandos químicos. Esta asociación ocurre rápidamente, cuando el metal ingresa al agua. Una vez que el metal está asociado, deja de estar libre para "asociarse" con los órganos respiratorios de las especies acuáticas⁽³⁹⁾. Estos órganos, denominados agallas en los peces, constituyen el ligando biótico (Paul Paquin et al, 2002).

(30) Holgate S., Samet J, Koren H., Maynard R., Air Pollution and Health, Academic Press, 1999, NY, USA.

(31) Lagos et al., 1999.

(32) Se refiere a techos y otros tipos de superficies en edificios y construcciones.

(33) La emisión desde radiadores ocurre debido al agua que entra en contacto con el cobre al interior del radiador.

(34) Estos son los conectores al descubierto que proporcionan electricidad a trenes.

(35) Usualmente se trata de sulfato de cobre adicionado a suelos para suplir la deficiencia natural del suelo, aumentando su productividad agrícola.

(36) Se proporciona sulfato de cobre en alimentos para animales, especialmente de chanchos.

(37) Las balatas son los artefactos que presionan el disco del automóvil para que este frene, generando polvo de cobre, el que es emitido al aire, pero precipita posteriormente, llegando a cursos de agua y al suelo.

(38) Sustancias químicas que contienen cobre y que permiten una mejor preservación de la madera.

(39) Dichos órganos cumplen, además funciones similares a las renales en mamíferos.

El concepto de este modelo surgió en la segunda mitad de la década de 1990 en el seno de un grupo de científicos, fundamentalmente de los Estados Unidos, impulsados fuertemente por la International Copper Association (ICA) y muy particularmente por su Director Científico, el Dr. Christopher Lee.

Nadie en esa época soñaba siquiera con que esta teoría sería la norma regulatoria de la EPA para el cobre y muchos otros metales, tan sólo 10 años después. El BLM es el resultado del avance de la química, fisiología, y toxicología y en consecuencia comprende un grupo muy amplio de personas que contribuyeron a desarrollar este modelo. La teoría que hizo posible el desarrollo del BLM era conocida desde décadas antes, aunque la fisiología de los organismos acuáticos progresó en décadas recientes y los instrumentos para medir concentraciones de metal a niveles de partes por billón y por trillón, se desarrolló también en años recientes.

La Figura 15 indica, a modo de ejemplo, que el metal M se asocia o se “liga” con el carbono orgánico disuelto (DOC), con los iones hidróxido (OH), carbonato (CO₃) y con el cloruro (Cl).

El cobre que queda libre, es por consiguiente bastante poco en relación al cobre disuelto que entró en solución. Es este cobre libre, denominado ión metálico libre, el que puede entrar en contacto con la agalla o ligando biótico, generando daño por toxicidad. El calcio y el sodio libre, compiten con metales libres por asociarse con el ligando biótico, pero a diferencia de los metales, estos iones contribuyen a dar vida al ligando.

La toxicidad⁽⁴⁰⁾ para organismos acuáticos de metales en agua se define, entonces, como la concentración crítica de iones metálicos libres en la superficie del ligando biótico. Se trata de toxicidad aguda por cuanto ocurre en períodos de exposición cortos^(CdM22).

La evidencia muestra que la toxicidad aguda de metales en peces de agua fresca produce daño morfológico a las agallas los que conducen a la sofocación y a un incremento de la absorción y pérdida de iones como el calcio y el sodio por parte de los organismos. El cobre y la plata actúan como metales monovalentes en la agalla y por consiguiente afectan el transporte de sodio monovalente hacia y desde las especies.

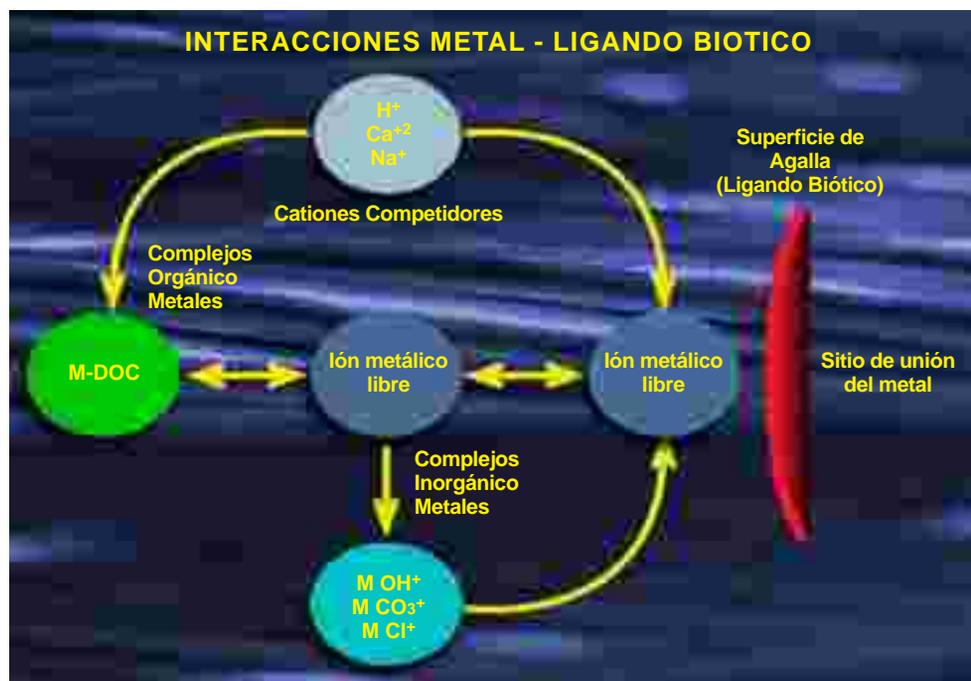


Figura 15. Interacciones entre metales, otros compuestos del agua y el ligando biótico (Figura obtenida de la International Copper Association)

El cadmio y el zinc, iones divalentes, perturban el metabolismo del calcio, también divalente. Y el plomo y mercurio, iones divalentes, cruzan la agalla y actúan tóxicamente sobre la fisiología de los peces. Por ello el cobre es menos tóxico para especies acuáticas en aguas que contienen calcio, sodio, carbono orgánico disuelto, carbonato, cloruro, hidróxidos y otros aniones. La capacidad del cobre para asociarse con otros compuestos químicos en el agua está fuertemente determinada por el pH o acidez, y también por la temperatura.

Por lo anterior, no es extraño encontrar que cuando el cobre disuelto en agua de estas características es, por ejemplo, de 30 ó 40 µg/L, el cobre que contribuye a la toxicidad es sólo un 1 a 5% de éste. En este caso el cobre libre se denomina cobre biodisponible, mientras que el resto del cobre está “capturado”.

En el caso, por ejemplo, que un ligando orgánico o inorgánico con metal entre en contacto con la agalla de un organismo acuático, lo que esta “ve” no es el metal sino que su envoltorio, es decir el compuesto orgánico o inorgánico, el que no es tóxico. La Figura 16 muestra la distribución del cobre en el agua.

(40) En este caso la toxicidad significa mortalidad del organismo acuático.



Figura 16. Relación entre concentración de cobre total y fracción disuelta y particulada.

El cobre particulado es aquel que no pasa por un filtro con apertura de 0,45 micrones⁽⁴¹⁾ de diámetro, mientras que el metal disuelto es lo que pasa por dicho filtro. El metal libre es parte del metal disuelto, pero no basta con medir el metal disuelto para conocer la toxicidad de un metal para los organismos acuáticos. Llama la atención que el estándar de cobre en agua potable sea 2 mg/L y que en algunos casos, el estándar de cobre para organismos acuáticos sea mil veces más pequeño. ¿Por qué el cobre es tanto más tóxico para organismos acuáticos que para los seres humanos?

La respuesta es conceptualmente simple: porque el mecanismo es distinto. La toxicidad de cobre en el agua potable dice relación con un efecto que ocurre en el estómago, mientras que el efecto de los iones libres en el agua, entran en contacto con el organismo respiratorio de los organismos acuáticos, el que es mucho más sensible que el estómago. La toxicidad por ingestión de metales de los organismos acuáticos es, también mucho más baja que la de sus organismos respiratorios.

En definitiva, la existencia del BLM permite estimar la toxicidad para organismos acuáticos de varios metales, y en particular del cobre, conociendo sólo el pH, la temperatura, y las concentraciones de calcio, magnesio, carbonato, hidróxido, cloruro y materia orgánica disuelta. Estas mediciones son relativamente fáciles de realizar. El cálculo que se realiza es, primero, uno de carácter termodinámico, el que estima la cantidad de cobre libre en el agua. Posteriormente, hay una base de datos con la toxicidad de cobre y otros metales hacia varios organismos acuáticos.

Por ello, lo que se hace es que se identifica el organismo que está presente, se busca en la tabla y se obtiene su toxicidad⁽⁴²⁾ para el cobre. Si esta concentración, calculada mediante un computador, es mayor que la concentración de cobre que se ha medido en el cuerpo de agua (río, lago, etc.), entonces la especie está protegida. Si la concentración medida es mayor que la calculada mediante el BLM, entonces hay toxicidad para dicha especie.

El BLM se aplica a aguas superficiales y subterráneas, y también se ha desarrollado un BLM marino y de estuarios, ya que el principio de asociación y toxicidad de los metales es el mismo. La diferencia entre tener el BLM y no tenerlo, radica en que con este modelo, las normas de metales con respecto a organismos acuáticos, pueden ser universales, mientras que sin este modelo es necesario medir la toxicidad para cada especie en cada lugar, cada vez que se presenta una interrogante respecto a la acción de los metales.

El T - BLM

El T-BLM es el modelo de ligando biótico terrestre, el que se encuentra en etapa de desarrollo. La toxicidad del suelo hacia plantas y otros organismos terrestres es a través del agua. Si no hubiese agua en el suelo, los metales depositados en este serían inocuos, a menos que fuesen ingeridos por un animal o por humanos. El T-BLM es considerablemente más complejo que el BLM para organismos acuáticos, ya que incorpora la composición de los suelos, la que es extremadamente variable, dependiendo de la geología y la geoquímica.

El conocimiento de los tipos de suelos existentes en el mundo, así como la comprensión de sus propiedades químicas y físicas fue necesario para la elaboración del T-BLM. Los metales que se encuentran en el suelo deben ser transferidos al medio acuoso, en donde se comportarían igual que lo que ya se ha descrito para el agua.



Ello aunque las raíces de las plantas tienen funciones distintas que las agallas, sin embargo constituirían la superficie de contacto en que la toxicidad de metales sería más importante. Existe una variedad de mecanismos de transferencia desde el suelo al agua, los que dependen no sólo de la composición del suelo y del agua sino que de la velocidad de transferencia.

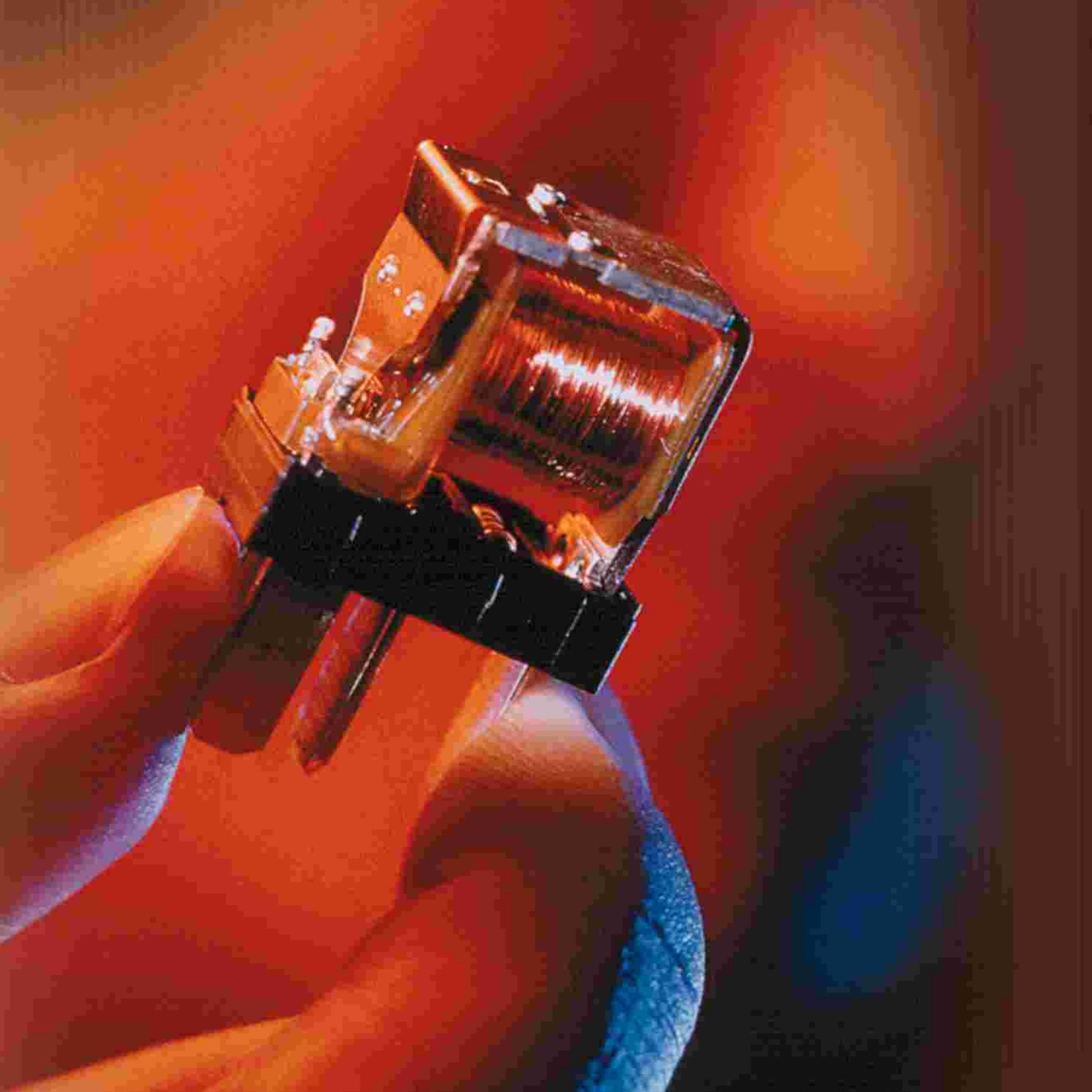
Mientras que en el agua las reacciones químicas son usualmente rápidas, llegando a un pronto equilibrio, las reacciones de migración, difusión, desorción y otros mecanismos de transferencia de los metales al agua, son mucho más lentos. Por ello, dependiendo del tipo de suelo y del agua que está presente, el metal podría quedar atrapado en el suelo en forma indefinida, mientras que en otras ocasiones el metal podría ser transferido al agua. Es posible que el T-BLM adquiera en el futuro, tras el desarrollo científico, un rol tan significativo como el BLM acuático.

(41) Un micrón es una millonésima de metro.

(42) Se obtiene una concentración de cobre que representa la concentración letal 50 (y también se obtienen otras concentraciones letales), la que significa que con esa concentración de cobre el 50% de dichos organismos mueren en un período determinado.

Referencias

- Bodwell CE & Erdan JW Jr eds. (1988) Nutrient interactions. Institute of Food Technologists (IFT) Basic Symposium Series. New York, Marcel Dekker, 379 pp.
- Bryson B., A short history of nearly everything, Transworld Publishers Black Swan, Great Britain, 2004.
- Codelco Chile, 2007, Memoria Annual, Santiago, Chile.
- Coleman et al (1973), Antimicrob. Agents Chemother 4:259-62.
- Copeland, Brian R. and Taylor, M. Scott – Trade, Growth and the Environment, Journal of Economic Literature Vol. XLII, March 2004.
- CRU, 2008, Estudio del CRU sobre sustitución realizado para la Asociación Internacional del Cobre, N.Y., EEUU.
- Environmental Health Criteria 228, 2002, Principles And Methods For The Assessment Of Risk From Essential Trace Elements, Published under the joint sponsorship of the United Nations Environment Programme, the International Labour Organization, and the World Health Organization, and produced within the framework of the Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals, World Health Organization, Geneva, 2002.
- Escala S., 2000, Equilibrio económico para la producción y reciclaje de cobre en el mundo, Memoria de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Greenwood N.N., y A. Earnshaw, Chemistry of the Elements, Pergamon Press, 1984, primera edición.
- Ginocchio R., Patricio Rodríguez, Ricardo badilla, Herbert Allen, Gustavo Lagos, Effect of soil copper content and pH on copper uptake of selected vegetables grown under controlled conditions, Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 21, No. 8, pp. 1736–1744, 2002
- Henstock, M., 1997, The Potential and Limitations of Copper Recycling, Proceedings of the World Copper Recycling Conference, International Copper Study Group, Brussels, March, 1997.
- ICME, Heavy Metals in the Environment: a geosciences perspective, International Council for Metals and the Environment, ICME, Ottawa, Canada, 1996.
- ICME, International Council for Metals and the Environment, 1996, "Heavy metals in the environment: a geosciences perspective", Ottawa, Ontario, Canada.
- IPCS (1998) Environmental Health Criteria 200: Copper. Geneva, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety.
- Jolly J., 2001, The US copper_base scrap industry and its by-products: an overview (Second Edition, unpublished), United States Geological Survey.
- Jordan & Nassar (1971), Vet. Rec. 89:609-10.
- Klekociuk A.R., Peter G. Brown, Dee W. Pack, Douglas O. ReVelle, W. N. Edwards, Richard E. Spalding, Edward Tagliaferri, Bernard B. Yoo3 & Joseph Zagari., Meteoritic dust from the atmospheric disintegration of a large meteoroid, Vol 436|25 August 2005| doi:10.1038/nature03881.
- Lagos G.E., L.C. Maggi, D. Peters, and F. Reveco, "Model for the Estimation of Human Exposure to Copper in Drinking Water", The Science of the Total Environment, Vol 239, Issue 1-3, 1999, pp 49-70.
- Lagos G., H. Henríquez, Escenarios para la Oferta y Demanda de Cobre en el Siglo XXI, ¿Minería para siempre? Volumen I, Foro en Economía de Minerías, Ediciones Universidad Católica de Chile, 2004, pp 57-80.
- Lewis AI, 2005, Las propiedades antimicrobianas del cobre y sus aplicaciones potenciales como material higiénico, en Cobre, Medio Ambiente y Salud, Aportes a la Ciencia, Recopilación de investigaciones, publicado por Comisión Técnico Asesora del Cobre, Comisión Chilena del Cobre, Santiago, Chile, pp 148-175.
- Maddison A., The World Economy, Historical Statistics, OECD Publishing, 2003.
- Olivares M., F. Pizarro, S. de Pablo, M. Araya, and R. Uauy, Iron, Zinc, and Copper: Contents in Common Chilean Foods and Daily Intakes in Santiago, Chile, doi:10.1016/j.nut.2003.11.021.
- Occupational Safety and Health Administration, OSHA, 2009, Section 6 - VI. Health Effects Discussion and Determination of Final PEL (Permissible exposure level), http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=PREAMBLES&p_id=770
- Paquin P.R., Joseph W. Gorsuch, Simon Apte, Graeme E. Batley, Karl C. Bowles, Peter G.C. Campbell, Charles G. Delos, Dominic M. Di Toro, Robert L. Dwyer, Fernando Galvez, Robert W. Gensemer, Gregory G. Goss, Christer Hogstrand, Colin R. Janssen, James C. McGeer, Rami B. Naddy, Richard C. Playle, Robert C. Santore, Uwe Schneider, William A. Stubblefield, Chris M. Wood, Kuen Benjamin Wu, The biotic ligand model: a historical overview, Comparative Biochemistry and Physiology Part C 133 (2002) 3–35.
- Pearce D.W., and R. Kerry Turner, Economics of Natural Resources and the Environment, Publicado por Harvester Wheatsheaf, 1990, Londres.
- Pizarro, F, M. Olivares, R. Uauy, P. Conreras, A. Rebelo and V. Gidi, Acute effects of graded levels of copper in drinking water, Env. Health Perspectives, Vol 107, N°2, February, 1999.
- Radetzki, M., "Seven thousand years in the service of man – the history of copper, the red metal, in print, Resources Policy.
- Tilton J., ¿Con los días contados?, un análisis del agotamiento de los minerales, Foro ene Economía de Minerías, volumen II, 2004, Ediciones Universidad Católica de Chile.
- John E. Tilton, Gustavo Lagos, Assessing the long-run availability of copper, Resources Policy 32 (2007) 19–23.
- Torres, J.C., Cobre, Medio Ambiente y Salud, Una Conexión Vital, CTA, Comisión Chilena del Cobre, 2002, Santiago, Chile.
- Totsuka & Ohtaki (1974), Jpn. J. Microbiol18:107-12.
- Sagripanti & Lightfoote MM (1996), AIDS Res. Hum. Retroviruses 12:333-7.
- Strand J., – Environmental Kuznets curves: Empirical relationships between environmental quality and economic development., Lecture Held at the Norwegian Research Council's conference on Poverty, environment and sustainable development, March 2002
- Suming Hong, Jean-Pierre Candelone, Clair C. Patterson, Claude F. Boutron , "History of Ancient Copper Smelting Pollution During Roman and Medieval Times Recorded in Greenland Ice", Science, New Series, vol 272, N° 5259, (Apr 12, 1996), 246-249, American Association for the Advancement of Science.
- Unit World Model, 2008, International Copper Association Report, Further Development of Tier 1 Unit World Model: Addition of Iron and Manganese Oxides, Hydroqual, December 2008, USA.
- US Bureau of Mines, 1974, Recovery of Secondary Copper and Zinc in the United States, United States Department of the Interior, Bureau of Mines Information Circular, IC 8622, Washington D.C.
- USGS (annual), Mineral Commodity Summaries, US Geological Survey, Washington DC.
- WHO (1996) Trace elements in human nutrition and human health. Geneva, World Health Organization.
- WBMS, 2008, World Bureau of Metal Statistics, London, U.K.
- Xu P., Shengbiao Huang, Zijian Wang, Gustavo Lagos, Daily intakes of copper, zinc and arsenic in drinking water by population of Shanghai, China, Science of the Total Environment, 362 (2006) 50– 55.
- Yamamoto et al (2001), Biochem. Biophys. Acta. 91:257.



La Tecnología en las nuevas aplicaciones del Cobre

**Extracto Guía de Innovación Tecnológica de Aplicación del Cobre
International Copper Association (ICA)**

En esta Guía de Innovación, la industria del cobre proporciona una línea base para los esfuerzos de desarrollo de nuevas aplicaciones del cobre. Esfuerzos posteriores pueden generar caminos más directos y eficaces para lograr el éxito en mercados específicos. La cooperación en la investigación entre investigadores de la ciencia de los materiales, metalurgia y procesamiento de materiales, ingenieros de diseño y aplicación, fabricantes, y el gobierno puede generar la energía e ímpetu necesario para conducir al cobre y sus industrias en esas direcciones.

Cuando la industria mire hacia el futuro, el éxito de esta Guía de Innovación se medirá por el número y el alcance de los proyectos de I&D en cooperación que ésta inspire y los beneficios que dichos proyectos sumen. Entre los beneficios complementarios, pero igualmente importantes estarán -de manera muy legítima- la mejora en la percepción del cobre como un material técnicamente avanzado, ecológico y conectado con la vida.

Introducción

La industria del cobre continúa un proceso que se iniciara varios años atrás; para trazar en mayor detalle directrices para un crecimiento sostenido y responsable en la utilización del cobre en las décadas venideras. El primer esfuerzo de la industria, la *Guía de Innovación Tecnológica del Cobre (Copper Technology Roadmap, 2004)*, se enfocó en la minería y la extracción, en cómo aquellas tecnologías cambiarán (o podrían ser inducidas al cambio), y cómo ellas interactuarán con una variedad de fuerzas conductoras ya sea tecnológicas, sociales, económicas, políticas e industriales.

El desarrollo de la Guía de Innovación “primario” fue guiado por AMIRA International Ltd., la asociación de investigación minera de la industria de los minerales. Aunque es demasiado pronto para identificar algunos “eventos eureka” específicos, las publicaciones técnicas reportan mejoras permanentes en áreas tales como control de sistemas, la utilización del agua, la robótica y automatización, y la explotación y procesamiento in situ - todos los cuales fueron identificados como prioridades de investigación en la publicación del año 2004.

Ahora, el campo visual de la industria se ha ampliado. La Guía de Innovación Tecnológica de Aplicaciones del Cobre busca mirar “corrientes abajo” mas allá de las minas, plantas, fundiciones y refinerías hacia los manufactureros, procesadores, y también a disciplinas en particular e industrias, como también a aplicaciones específicas, Figura 1.1. El objetivo aquí es identificar aquellas

áreas en las cuales la investigación tecnológica y el desarrollo nos llevarán con un alto grado de probabilidades a un impacto significativo en el valor del cobre en mercados en gestación y emergentes. Esta Guía de Innovación ha sido desarrollada por medio del conocimiento colectivo de los productores de cobre y manufactureros, de las industrias que utilizan el cobre, las universidades, los laboratorios gubernamentales, los empresarios y los tecnólogos independientes, con la expectativa de que la industria use este conocimiento para guiar su futuro.

El cobre tiene un notable récord ininterrumpido como parte integral de la vida y la civilización humana. Es un metal que ayudó a impulsar la revolución industrial, ha sido irremplazable en el avance de las tecnologías de la información y comunicaciones, ha ayudado a proporcionar agua potable limpia e inocua a millones de familias, y ha contribuido en la reducción de infecciones microbianas. Las propiedades fundamentales del cobre le han permitido satisfacer las necesidades de la sociedad a través de la historia, y son estas características las que la industria debe continuar investigando con el fin de descubrir nuevas maneras en que el cobre pueda motivar la innovación.

A medida que la industria continúa avanzando, esta debe trabajar junto con sus socios para examinar las maneras en que las ventajas intrínsecas del cobre puedan ayudar de mejor manera al progreso de la sociedad en el futuro. En algunas instancias, el éxito vendrá a través del desarrollo de nuevos materiales - aleaciones, compuestos y composites - y formas mejoradas y más efectivas en costos para poder producir y procesar aquellos materiales. Las industrias de conectores eléctricos y de arreglos (packaging) electrónicos son dos ejemplos de entre muchos en donde este enfoque es utilizado en forma rutinaria. Existen también situaciones que invitan a optimizar la manera en la cual el cobre es utilizado o manufacturado. El exitoso desarrollo de un proceso de moldeado a presión (die casting) de cobre a menores costos, auspiciado por la International Copper Association (ICA) - es un buen ejemplo de I&D en cooperación en la industria del cobre (ver Anexo A). Por último, hay desarrollos que se necesitan para contrarrestar una potencial sustitución por contrarrestar la sustitución por materiales alternativos; sin embargo, estos problemas pueden ser superados por la innovación que aprovecha en forma adecuada los muchos atributos del cobre.

Ventajas intrínsecas del cobre

Ningún otro metal, sólo o en forma de aleación, ofrece de manera tan efectiva la cantidad y la amplitud de propiedades útiles como el cobre. Las más importantes son la alta conductividad térmica y eléctrica, la resistencia inherente a la corrosión, la eficacia antimicrobiana, la facilidad de manufacturación, la versatilidad de formar aleaciones y su placentera apariencia estética. El progreso tecnológico de las próximas décadas dependerá fuertemente de los materiales avanzados: metales, aleaciones, composites y

otras estructuras, muchas de las cuales pueden potencialmente contener cobre. Estos materiales no sólo tendrán que funcionar bien, sino que también se les exigirá que tengan un impacto positivo, o al menos sin influencias negativas, en temas como la salud humana, eficiencia energética, sustentabilidad y estándar de vida. El cobre y los materiales basados en cobre cumplen plenamente con estos criterios. El Anexo B entrega información adicional sobre las propiedades útiles del cobre. El Anexo C proporciona información sobre el rol del cobre en la satisfacción de las necesidades de la sociedad.

Desde el cátodo al producto terminado: Diseño de ingeniería y desarrollo de productos/procesos

Los cátodos de cobre y el cobre reciclado son los materiales básicos para iniciar las aplicaciones del cobre “corrientes abajo”. Las compañías de cobre semi-manufacturado procesan estos materiales, a menudo con elementos para aleaciones, para producir una forma intermedia con propiedades adecuadas para la fabricación y para productos terminados. Estos materiales de cobre con valor agregado se usan entonces para fabricar la forma precisa del producto terminado. Los expertos en materiales de las compañías de cobre semi-manufacturado y los ingenieros y especialistas de sus clientes, interactúan estrechamente en el diseño de ingeniería y los procesos de desarrollo para asegurar que la composición y la pureza de las aleaciones de cobre logren la funcionalidad y desempeño deseados en la aplicación final.

La industria del cobre, usando sus propios representantes y aquellos en los 29 centros del cobre distribuidos alrededor del mundo, ofrece a los usuarios un alto nivel de apoyo para asesorarlos en la selección de la solución más efectiva en cuanto a materiales de cobre. El Capítulo 2.1 proporciona detalles adicionales sobre los temas claves, oportunidades y seguimientos recomendados para el cobre que respaldarán una futura colaboración técnica con los ingenieros de procesos y productos.

Tendencias y desafíos que influyen en el uso del cobre

Aquí, describimos unas cuantas tendencias que afectan el uso del cobre, junto con algunas de las propiedades del cobre relevantes para estos temas. El Anexo D contiene información sobre las tendencias generales en el uso del cobre.

- **Reducción de los costos de procesamiento** - Para continuar siendo competitivos los fabricantes deben continuar reduciendo sus costos de manufacturación y a la vez mantener la alta calidad de sus productos. El cobre es rutinariamente procesado por métodos de manufactura comunes, y está disponible en muchas formas y aleaciones que permiten una producción eficiente. El cobre es también adaptable a técnicas de procesamiento de

conformación tipo “net shape” y es posible semi-fabricar algunos productos de cobre usando la etapa de electrodeposición utilizada en la producción de cátodos de cobre. La industria del cobre debe continuar elevando el nivel de sofisticación en la fabricación y en las tecnologías de procesamiento de materiales que le permitan fabricar productos confiables y de alta calidad de manera eficiente y bajos costos.

- **Maximización del valor agregado en el uso del cobre** - Los fabricantes generalmente buscan utilizar la menor cantidad de material consistente con la funcionalidad óptima. Mejoras en el análisis, métodos de diseño y simulaciones de proceso permiten que los materiales sean utilizados sólo donde son necesarios. En las aplicaciones del cobre que hay en el mercado, existe la posibilidad de usar menos metal a la vez que se mantiene o mejora el desempeño del producto. Además, el valor del cobre puede ser mejorado por el uso de otros materiales en forma conjunta y la selección del proceso, en lo cual la industria del cobre proporciona apoyo técnico y nuevas aleaciones específicas a la industria en general. Por ejemplo, un número creciente de aplicaciones eléctricas requieren nuevas aleaciones; porque otras propiedades, tales como la fuerza mecánica, son requeridas en combinación con la conductividad. El mismo concepto es útil para las aplicaciones en acuicultura, donde se necesita una gran fuerza mecánica en combinación con resistencia a la corrosión y a las incrustaciones.

- **Aumento de la presión competitiva de otros materiales** - Los metales, composites, polímeros, sistemas multi-capas y otros materiales alternativos han desafiado muchos de los mercados tradicionales del cobre. Aún así el cobre, con su única combinación de propiedades útiles, frecuentemente ofrece potenciales mejoras sistémicas y/o económicas que no se logran con otros materiales. En este caso, el desafío de los diseñadores es minimizar, comprometerse y hacer un uso más eficiente de un material inherentemente mejor. Aunque la influencia de los altos costos del cobre no se puede negar, el cobre históricamente ha encontrado aplicaciones en las cuales es el único adecuado, eliminando exitosamente este tema sensible -costos- de la decisión de compra.

- **Cambio de regulaciones, códigos y normas** - Los temas de eficiencia energética y sustentabilidad se han posicionado rápidamente en las agendas de las políticas de los negocios y de los gobiernos. Cada día se acrecienta más la percepción de que el cobre es eficiente en las aplicaciones energéticas, es indefinidamente reciclable y biológicamente esencial. Como resultado, el metal, en muchos casos, ha mantenido exitosamente su posición.

- **Aseguramiento del desempeño de productos elaborados con cobre** - La simulación computacional está siendo cada día más aplicada para predecir y validar el desempeño del cobre en nuevas aplicaciones. Pocos sistemas metálicos son tan bien

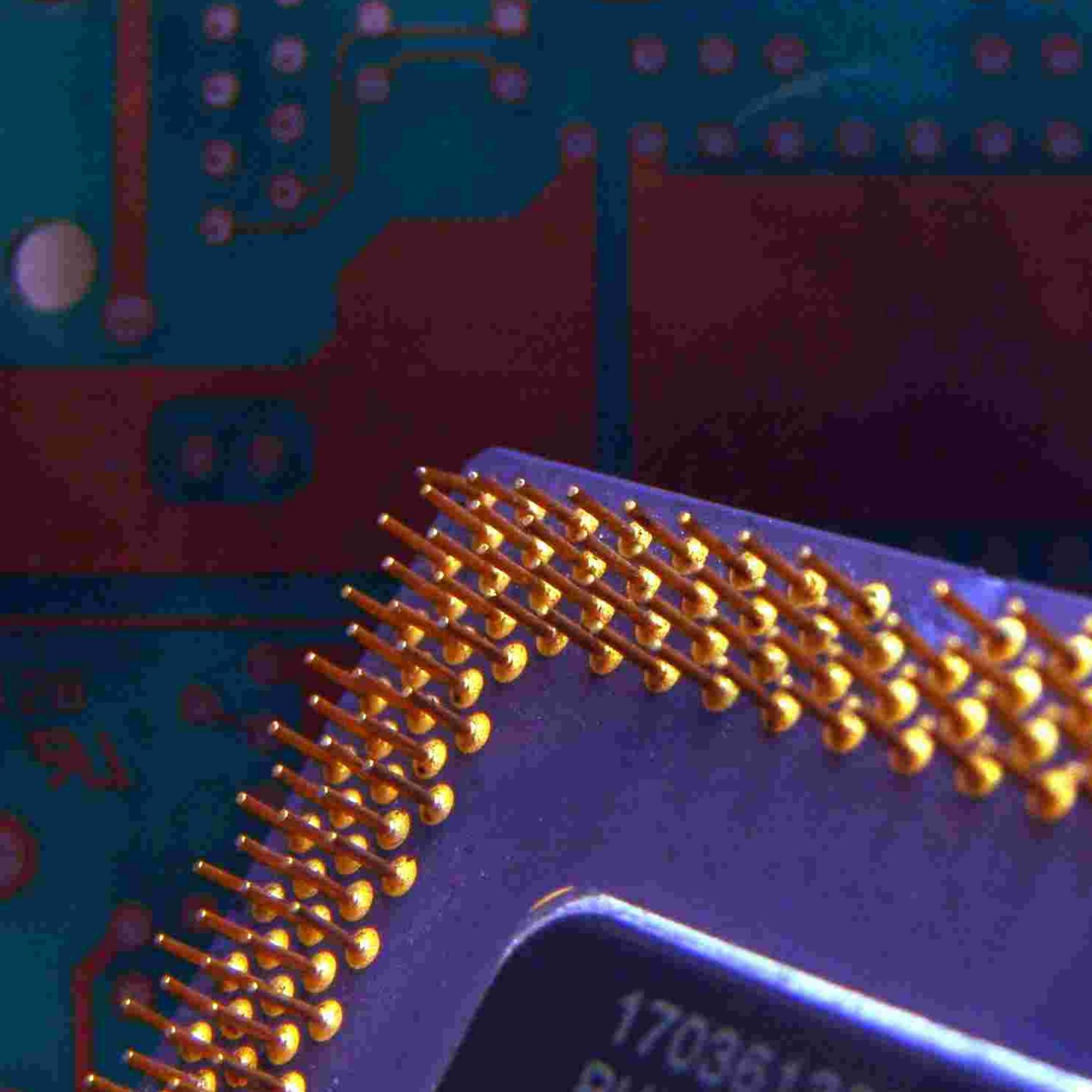
comprendidos (o tan extensamente) como la familia del cobre y sus aleaciones. La gran mayoría de las publicaciones técnicas sobre el cobre están disponibles en línea, libre de costos, y son apoyadas por más de dos docenas de organizaciones regionales y nacionales de desarrollo del cobre.

- **Aumento en el uso de materiales complementarios elaborados** - El cobre raramente se aplica solo. Se usa más frecuentemente en combinación con otros materiales elaborados para diseñar un sistema a la medida de las propiedades finales, de acuerdo a las necesidades de una aplicación específica. Los materiales complementarios pueden, por ejemplo, proporcionar capas más finas de aislamiento eléctrico, protección contra la manipulación brusca y corrosión, y muchas otras cualidades deseables.

- **Diseño para recuperación y re-utilización** - Diseños que promuevan el reciclaje preservarán el valor del cobre a la vez que beneficiarán al medio ambiente. El cobre está entre los metales que más eficientemente es reciclado en el comercio global. Es 100% reciclable sin ninguna pérdida en su desempeño; 34% de la demanda global de cobre es satisfecha con cobre reciclado. Cuando el costo total por ciclo vida es analizado, su mayor eficiencia energética y reciclabilidad hacen del cobre una alternativa atractiva en aplicaciones relacionadas a la energía.

Figura 1.1 Cadena de valores de La Industria del Cobre.





1703619
P...

Prioridades de la Guía de Innovación

La Guía de Innovación - en combinación con otras iniciativas - busca guiar programas de I&D en conjunto y pre-competitivos, que beneficien a la industria del cobre y a la sociedad. La industria favorece este enfoque de cooperación y no competitivo, puesto que los costos son distribuidos entre las partes que esperan ganar beneficios y una variada gama de conocimientos que están disponibles para los participantes de los proyectos. Los siguientes criterios generales para seleccionar las actividades prioritarias fueron establecidos por las asociaciones de la industria del cobre, los productores de productos semi-manufacturados y manufacturados, y los fabricantes de productos terminados:

- Las actividades prioritarias deben resultar en un impacto positivo y significativo en la utilización del cobre, y los resultados de los esfuerzos de I&D deben mostrar innovación o mejoras sustanciales en la tecnologías respectivas o mercados sectoriales. Por ejemplo, aunque el mercado de distribución de agua (tubo de fontanería, etc.) representa una aplicación significativa del cobre, contabilizando un 13% del uso del cobre hoy en día, no es considerada un área prioritaria para I&D. Esto se debe a que hay un crecimiento en el uso de materiales alternativos aceptables y las condiciones del mercado sugieren que la innovación tecnológica no es la clave para sustentar el uso del cobre en la aplicación de distribución de agua. Sin embargo si es importante y necesario I&D en el área de la energía donde el cobre es un metal estratégicamente importante para la energía, con un gran potencial de crecimiento en sistemas de energías renovables y en propulsión automotriz.

- Las actividades prioritarias deben tener una alta probabilidad de implementación comercial dentro de un marco de tiempo razonable (alrededor de cinco años) contados a partir de la iniciación del proyecto. Cumplir este criterio no es inherentemente difícil, pero sí requiere que las actividades sean juiciosamente escogidas, cuidadosamente planeadas, bien organizadas y rigurosamente gestionadas.
- Las actividades prioritarias deben mejorar la percepción positiva del cobre en el medioambiente y la sociedad, cuando sea importante. El Cobre es esencial para la salud, su uso promueve eficiencia energética y su reciclabilidad es casi insuperable entre todos los materiales elaborados.

La incertidumbre en los mercados, regulaciones, progresos tecnológicos, y competencia requieren que la industria del cobre mantenga una cartera de investigación sólida que pueda responder efectivamente a una variedad de posibles escenarios futuros. Es difícil predecir la importancia de cada mercado a través del tiempo. Lo que parece significativo hoy día puede cambiar con los giros que puedan experimentar temas fundamentales que influyen en el uso del cobre. A medida que la industria desarrolle las oportunidades contenidas en esta Guía de Innovación, esta debe revisarse, evaluarse y ajustarse la mezcla de proyectos que conducirán al éxito en el futuro.

Clasificación de oportunidades priorizadas

Las oportunidades priorizadas descritas en la Guía de Innovación están agrupadas en tres grandes clasificaciones: Aplicaciones Transversales, Aplicaciones Existentes/En Gestación y Aplicaciones Emergentes.

Aplicaciones Transversales apoyan el diseño de ingeniería y el desarrollo de productos/procesos para avanzar con uno o más usos del cobre. El objetivo es optimizar los procesos de producción intermedios para lograr el máximo valor en el producto final. Por ejemplo, la optimización del moldeo semi-sólido de las aleaciones de cobre mejora la habilidad del fabricante para producir componentes de alta resistencia y de formas complejas, a menores costos y con un menor impacto ambiental.

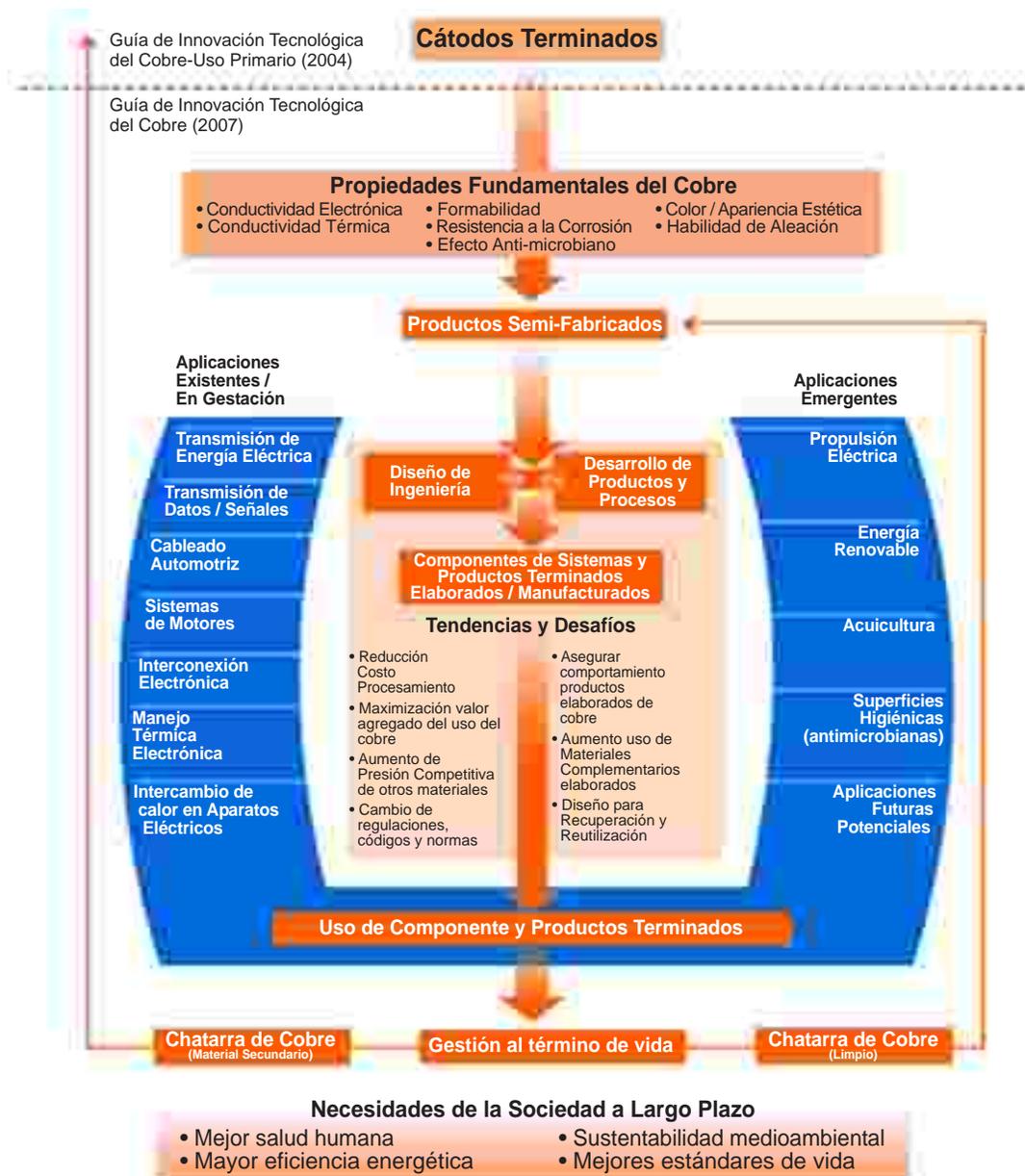
Aplicaciones Existentes/En Gestación mantienen o expanden los usos actuales del cobre a gran escala. Ellos están tipificados por la presión del costo, la competencia entre materiales y las restricciones de diseño (por ej. miniaturización), cualquiera de las cuales pueden influenciar el uso del cobre en estas aplicaciones. Aquí, el objetivo es aumentar la participación del mercado a través del desarrollo de nuevos productos de cobre o mejorados, reforzando la posición del cobre. Un ejemplo útil de este enfoque es el desarrollo de los dispositivos de transferencia de calor mejorados en base a cobre.

Aplicaciones Emergentes abren mercados totalmente nuevos para el cobre y por lo tanto amplían y aumentan su uso. El enfoque aquí está en la aplicación creativa de las propiedades del cobre para resolver nuevos problemas tecnológicos. Un ejemplo en esta categoría es la explotación de la eficacia antimicrobiana del cobre para superficies de contacto. Se ha completado una cantidad considerable de investigación en esta área, aunque todavía quedan pendiente algunos aspectos

fundamentales como son: un gran trabajo en transferencia de tecnología, así como también el desarrollo/promoción del mercado.

Los siguientes resúmenes proporcionan detalles adicionales sobre las aplicaciones listadas en la Figura 2.1. Los resúmenes son generales, incluyen sólo unos pocos ejemplos específicos, con el propósito de promover una discusión entre los potenciales colaboradores de nuevas ideas para la innovación del cobre.

Figura 2.1
Prioridades de Investigación a lo Largo de la Cadena de Valor.



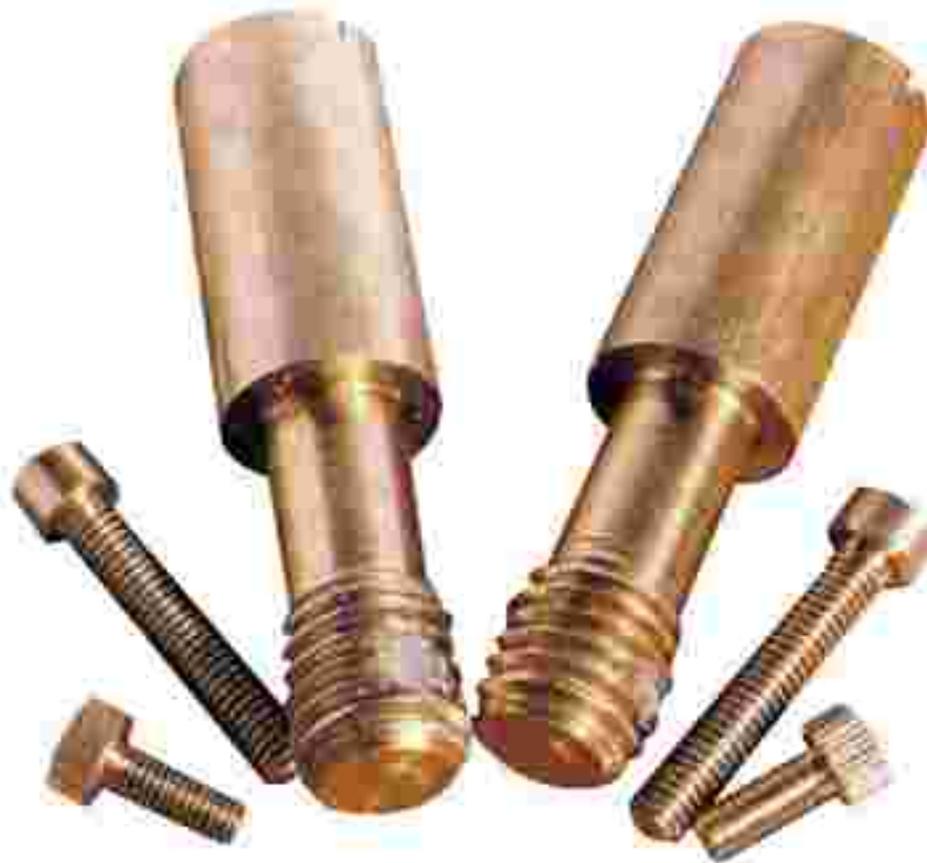
Oportunidades transversales: Diseño de ingeniería y desarrollo de productos/procesos

La selección de los material y de los proceso para un componente dado depende de su complejidad y la funciónabilidad deseada, la calidad del producto y las especificaciones de desempeño, y el nivel de costos proyectado. Tanto las propiedades físicas como las mecánicas juegan un importante rol en la selección de una aleación adecuada y sus subsiguientes pasos de procesamiento tales como el estampado, trefilado, soldadura, etc.

Hoy en día, la investigación en el procesamiento, manufactura, y fabricación de materiales se está integrando cada vez más a la investigación sobre el diseño de ingeniería de los componentes y estructuras. Una mayor sofisticación en el diseño de ingeniería, manufactura, y las tecnologías de procesamiento de materiales son necesarias para producir productos confiables, de alta calidad de una manera eficiente y costo efectiva.

La innovación en las técnicas de procesamiento de materiales es necesaria para incorporar materiales avanzados en los productos tales como conectores flexibles de cobre de alta resistencia, materiales compuestos para intercambiadores de calor, y superficies de contacto antimicrobianas sin los efectos del “envejecimiento” (tarnishing).

Cada día más, los usuarios del cobre están requiriendo soporte técnico para obtener el máximo valor del cobre. Los clientes esperan el soporte técnico al tomar decisiones con respecto a temas tales como la optimización del uso de materiales complejos multi-componentes, para sobreponerse a obstáculos específicos o para obtener información necesaria para una aplicación en particular. Mientras la industria del cobre ofrece a los clientes un alto nivel de soporte para asesorarlos en la selección de la solución del material de cobre más efectiva, actividades adicionales son necesarias para apoyar la colaboración técnica con respecto a las aplicaciones emergentes y en gestación para el cobre.



Tendencias, Problemas, Motivadores	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor sofisticación y requerimientos de funcionamiento de los componentes de cobre. • Mayor miniaturización, complejidad y densidad de los componentes. • Presión constante para reducir costos y usar menos materiales. • Mayor niveles de composites versus mono-materiales requeridos para cumplir las necesidades de la aplicación. • Aumento de las expectativas del nivel de servicio y soporte a las compañías de semi-fabricación.
Oportunidades y Directrices Recomendadas	
Compósitos (aleaciones)	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar aleaciones con excelentes propiedades de fabricación que no contengan elementos peligrosos. • Desarrollar aleaciones resistentes -oxidación y pérdida de lustre- especialmente aquellas que mantienen propiedades anti-microbianas. • Desarrollar aleaciones de alta resistencia utilizando elementos benignos. • Diseñar aleaciones para optimizar procesos de aplicación específicos, tales como moldeados semi-sólidos.
Microestructuras	<ul style="list-style-type: none"> • Aclarar la dinámica de mecanismos micro-estructurales complejos para los cuales los materiales avanzados de cobre se deforman, degradan y fracturan. • Mejorar la detección y caracterización de los defectos producidos en el procesamiento, manufacturación y fabricación para rastrear la evolución de los defectos en nuevas aplicaciones de servicios. • Determinar los datos necesarios para la simulación, el diseño de aleaciones y la optimización de la fabricación.
Forma	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar los modelos de solidificación para simulación de moldeos de formas con las técnicas de conformación (Near Net Shape Casting). • Actualizar los datos de fresado para incluir nuevos materiales como herramientas de corte (por ej. diamantes, revestimientos con características similares al diamante, cerámicas). • Promover la aplicación de procesos innovadores de moldeos (por ej. Formación por gas caliente, procesamiento de semi-sólidos, moldeado a presión).
Superficies	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar el entendimiento de las interfases para mejorar la manipulación y el control de las interfases que separan diversos componentes de sustancias complejas. • Desarrollar nuevos revestimientos auto-regenerativos que permitan la liberación controlada de iones de cobre.
Métodos de Uniones	<ul style="list-style-type: none"> • Estudiar las interfases cobre-materiales disímiles para predecir la durabilidad de las estructuras compuestas. • Investigar nueva tecnologías para uniones. • Establecer una red de aplicación de técnicas avanzadas de uniones (como haz electrones, CuproBraz[®], laser, etc.) para apoyar a los manufactureros.
Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Colaborar con organizaciones multi-metales, organizaciones específicas de cobre y organizaciones de otros materiales específicos para optimar la aplicación de los composites de cobre. • Mejorar métodos de predicción y aseguramiento de la durabilidad de la vida de servicio, incluyendo la combinación entre el diseño de ingeniería integrada para satisfacer los requerimientos de desempeño y el modelamiento de las etapas de procesamiento y manufacturación necesarias para las aplicaciones de los materiales de cobre.
Reciclaje	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar el diseño del producto para la recuperación del cobre. • Proporcionar la información del costo del ciclo de vida del producto relativo al cobre y a las especificaciones de los materiales. • Informar a los manufactureros sobre las mejores prácticas para los procesos de manufacturación relacionados con cobre.

Oportunidades existentes/En gestación: Transmisión de energía eléctrica

La parte más grande del mercado del cobre -cables y alambres eléctricos- comprende productos de alto amperaje usados en los sistemas interconectados de transmisión y de distribución de energía eléctrica, como así también en grandes instalaciones industriales. La creciente demanda por estos productos se está acelerando debido a la expansión de las infraestructuras de energía. En las economías en desarrollo, la capacidad limitada de las redes existentes requerirá mejoras y expansiones a las infraestructuras de distribución ya existentes. La construcción de redes extensas para instalaciones de distribución de servicio o para instalaciones generadoras ubicadas en regiones remotas tales como las eólicas y solares agregan una demanda aun mayor de cables para la distribución de energía. Existe también un interés creciente en la transmisión subterránea y en los cables de distribución para lograr un servicio seguro y sin interrupción, y el deseo de evitar el mayor costo de mantenimiento y operación en las líneas de cable aéreas.

El mercado para cables de energía eléctrica submarina de alto voltaje se está expandiendo para satisfacer usos tales como aquellos para plataformas oceánicas de producción de petróleo/gas, parques eólicos en alta mar y redes eléctricas. Los requerimientos incluyen cables con mayor voltaje (>275 kV) y una mayor capacidad

de transmisión de energía eléctrica. Además de los conductores eléctricos, existen oportunidades para el cobre en los cables protegidos a pruebas de agua para ser usados en el fondo del mar y aquellos que se elevan hasta la superficie ya que ofrecen una mejor resistencia a la fatiga en comparación a los cables tradicionales revestidos de plomo.

Además, el cobre es usado como regulador térmico y eléctrico en dispositivos superconductores, una tecnología que sólo recientemente ha comenzado a emerger como una fuente importante de nuevas aplicaciones para el cobre.



Tendencias, Problemas, Motivadores	<ul style="list-style-type: none"> • Interés en la confiabilidad de los cables submarinos, junto con la creciente demanda de transmisión de energía eléctrica oceánica (especialmente de las tecnologías de generación oceánica). • Infraestructura en rápida expansión. • Creciente saturación en las infraestructuras existentes en economías en crecimiento. • Ampliación y liberalización de los mercados de generación y distribución de energía eléctrica en economías maduras.
Oportunidades y Directrices Recomendadas	
Alto Voltaje	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar del revestimiento de plomo por un revestimiento resistente a la fatiga e impermeable en cables submarinos dinámicos (por ej. mar a plataforma) y estáticos (por ej. el fondo del mar). • Revisar la evaluación económica de composites de cobre de alta resistencia, alta conductividad, como alternativas para núcleos tradicionales en cables de transmisión aéreas.
Voltaje Mediano	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar sistemas de aislamiento más flexibles y delgados.
Bajo Voltaje	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar sistemas de aislamiento de menor grosor.
Componentes del Sistema de Transmisión y Distribución	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar bobinados de transformadores con mayor-densidad de empaque.
Otras Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar materiales superconductores efectivos en cuanto a costo que contengan cobre.

Oportunidades existentes/En Gestación: Transmisión de datos/señales

Actualmente, los cables y conectores de cobre son usados en más del 80% de los equipos de interconexión y transportadores de señal en los centros de datos. Es un hecho conocido que las instalaciones computacionales personales, industriales y comerciales continuamente demandan una mayor capacidad de ancho de banda para estas interconexiones. En muchos casos, el cobre compite exitosamente contra la fibra óptica. Por ejemplo, para tendidos de menos de 100 m de largo, los cables de cobre con anchos de banda de hasta 10 Gbps están disponibles a una fracción del costo de los de fibra óptica, además los cables de cobre han demostrado ser ventajosos hasta 100 Gbps.

El uso de cobre en vez de fibra evita la necesidad de dispositivos de acoplamiento óptico/eléctricos, reduciendo tanto el costo como la complejidad. Sin embargo, el costo de las instalaciones de fibra continúan disminuyendo y la realidad de este mercado demanda un desarrollo continuo en mejorar los sistemas con cables de cobre con el fin de que el metal continúe siendo competitivo. Además de proveer un ancho de banda adecuado, los nuevos cables de cobre deben reducir el consumo de potencia, y además deben ser más simples que los sistemas existentes con respecto a la instalación y conectividad.

Una de las principales propiedades del cobre es su habilidad para transmitir energía y datos simultáneamente, proporcionando una fuente confiable de energía que permite la utilización de dispositivos en red, tales como los teléfonos de Protocolo Internet, donde los puntos de acceso inalámbricos, y los conectores a la red que operan sin adaptadores de potencia, cordones o toma de corrientes AC por separado.



Tendencias, Problemas, Motivadores	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de los requerimientos de desempeño. • Continua competencia entre materiales, especialmente sobre la base de costos. • Aumentar la confiabilidad. • Mejorar la eficiencia eléctrica, por ej. reduciendo el consumo de energía. • Aumentar la simplicidad en los arneses de cableado.
Oportunidades y Directrices Recomendadas	
Interfases de Cobre de Alta Velocidad	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar métodos para superar la degradación de la señal mas allá de los 100 metros, preferentemente en los dispositivos terminales de bajo costo. • Promover el desarrollo de las normas de la industria aplicando los beneficios de las interfases de cobre.
Energía para Dispositivos Remotos de la Red	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar la capacidad de transmitir mayor energía (por ej., 30W) con la transmisión de datos por medio de cables de comunicación. • Promover el desarrollo de las normas de la industria incorporando mayores capacidades de transmisión de energía. • Ampliar la disponibilidad de los productos que aprovechan la energía disponible a través de los cables de datos.
Menor Consumo de Energía	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar técnicas de señales de baja energía para reducir el consumo de energía de las redes/centrales de datos.

Oportunidades existentes/En Gestación: Cableado automotriz

Los automóviles usan cada día más dispositivos electrónicos para su funcionamiento, confort, seguridad y equipos accesorios de entretenimiento. El cableado para energía y conectividad continuará influenciando el uso del cobre en la industria automotriz, especialmente en relación a los arneses de cableado y conectores asociados.

Además, la continúa tendencia hacia un control más computacional y con microprocesadores empujará la demanda por sensores confiables y económicos, que representa un mercado fértil y cada día más interesante para el bronce y otras aleaciones de cobre.

Las limitaciones de espacio están impulsando a los fabricantes de autos a reducir de tamaño tanto los arneses como los conectores. Esta tendencia hacia la miniaturización conlleva a una mayor exigencia en las propiedades mecánicas de los materiales conductores y conectores, principalmente una resistencia mayor en los conductores, y una mejor resistencia de relajación de tensiones en las aleaciones de cobre usadas en los conectores. A la fecha, el cable de cobre más delgado para un arnés de cableado automotriz es de 0.13 mm² (corte transversal). Los arneses de cableado automotrices pueden ser aligerados en

3,4 Kg ó 12% para un sedan de lujo con motor de 2.0 litros al reemplazar el arnés del panel de instrumentos y el arnés del piso, con los cables de cobre recientemente desarrollados de 0.06 mm².

La sobrecapacidad persistente en la industria automotriz muy intensiva en capital hace que los fabricantes de autos enfrenten una presión continua para reducir los costos. La confiabilidad continuará siendo un tema para resguardar la seguridad de los pasajeros. El rango de temperaturas bajo el capó es de -40°C a 200°C y se espera que la temperatura máxima de diseño aumente en alrededor de 20°C.

La resistencia inherente a la corrosión que tiene el cobre, su conformabilidad, su estabilidad térmica, su reciclabilidad y compatibilidad con muchos procesos de manufactura existentes proporcionan muchas oportunidades para que la importancia del cobre crezca y continúe siendo viable en el sector de cableado automotriz.



Tendencias, Problemas, Motivadores	<ul style="list-style-type: none"> • Miniaturización. • Aumento del número de funciones eléctricas/electrónicas. • Aumento de la necesidad por calidad, costo y estabilidad de suministro. • Aumento de las temperaturas de bajo del capó. • Comunicaciones con mayor ancho de banda. • Aumento de las preocupaciones ambientales (por ej. desechos de equipos eléctricos y electrónicos, y restricciones en el uso de ciertas sustancias peligrosas, tales como plomo, mercurio y cadmio).
Oportunidades y Directrices Recomendadas	
Arneses de Cableado/ Interconexión	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar cables compactos de cobre para datos/señales de más bajo costo que los productos actuales. • Desarrollar alambres delgados y flexibles con mayor resistencia a la tensión para transmisión de datos de corto alcance y/o baja potencia. • Integrar las técnicas de transferencia de calor basadas en el cobre con arneses de cableado.
Aleaciones para Conectores con Mejores Propiedades a Temperaturas Elevadas	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la resistencia a temperaturas elevadas. • Aumentar la resistencia a la relajación de tensiones. • Mejorar la resistencia a la oxidación.
Terminales y Barras Conductoras	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar terminales pequeños con mejor resistencia, resistencia al calor y a la relajación por tensiones. • Desarrollar relees y barras conductoras con una mejor conductividad eléctrica. • Mejorar la maleabilidad de flexión de mini y micros terminales.
Métodos de Unión	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar técnicas mejoradas para unir el cobre con materiales disímiles.

Oportunidades existentes/En Gestación: Sistemas impulsados por motor

Los sistemas impulsados por motores eléctricos energizan aplicaciones de unos pocos watts en equipos personales hasta motores de 1000+ kW que impulsan grandes procesos de fabricación. Estos motores son responsables de alrededor de un 40% del consumo global de electricidad, lo que hace importante mejorar la eficiencia.

Una reducción del 7% en el consumo de electricidad es posible si la EU-27 aplica la mejor tecnología disponible en sistemas impulsados por motores. El Departamento de Energía de Estados Unidos estima que los motores industriales consumen un 23% de la generación de energía eléctrica y que el uso de electricidad podría reducirse entre un 11-18% (62-104 billones de kWh/año) si las instalaciones industriales aprovecharan todas las medidas de eficiencia disponibles. Los motores actualmente están sometidos a regulaciones más estrictas, elevando los costos de energía, y una aceptación más amplia de las consideraciones del costo del ciclo de vida. El uso de cobre moldeado a presión para las barras conductoras y anillos terminales dan como resultado

mejoras en la eficiencia de energía del motor y reducción en el costo. El uso de motores de velocidad variable que contienen rotores de cobre siempre resulta en una ganancia significativa en eficiencia en condiciones de carga parcial. Sin embargo, mientras que los rotores de



cobre moldeados a presión para motores CMR es ya un producto establecido, una reducción en los costos de producción permitiría una aplicación más amplia. La utilización de motores con rotores de cobre en aplicaciones que requieren de una alta relación torsión-peso, magnetización permanente, enfriados por agua y de alta frecuencia esta creciendo cada día mas. Los diseñadores están buscando aumentar la densidad de empaquetado del bobinado del estator, que es la causa del 60% de las pérdidas de electricidad en los motores de inducción AC. La tecnología de motores de velocidad variable depende del cobre para los componentes del sistema y de la gestión térmica de los componentes electrónicos.

Tendencias, Problemas, Motivadores	<ul style="list-style-type: none"> • Normas y regulaciones más estrictas de eficiencia energética. • Alzas en los costos de la energía. • Aumentar la conciencia acerca del costo de operación durante el ciclo de vida, de modo de reemplazar el costo inicial como el activador primario en la decisión de compra. • Incremento en el uso de motores de velocidad variable conduce a aumentar la eficiencia del sistema activado por motor. • Reducción de costos de producción de motores CMR. • Reducción del peso y tamaño de motores en aplicaciones militares y en la aviación.
Oportunidades y Directrices Recomendadas	
Eficiencia/ Desempeño del Motor	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar motores CMR monofásicos, económicos y con procesos de producción de bajo costo. • Desarrollar normas y métodos de prueba para motores eficientes súper-premium. • Optimizar los diseños específicos de motores y de las formas de barras conductoras que utilizan cobre. • Controlar las patinadas: cuantificar el efecto del rotor de cobre en la fuerza de torque (inicio, falla, bloqueo del rotor), especialmente en motores de alta potencia. • Desarrollar motores con mejor eficiencia energética para los componentes de equipos de aire acondicionado de operación continua.
Gestión Térmica en Transmisiones y Motores de Velocidad Variable	<ul style="list-style-type: none"> • Avanzar en el estado de la tecnología en la gestión térmica de semiconductores de alta potencia utilizados en motores con velocidad variable. • Desarrollar enfriadores compactos para grandes sistemas de enfriamiento de aire que utilizan motores de velocidad variable. • Desarrollar enfriadores ultra-compactos y optimizar las tecnologías de gestión térmica para motores pequeños. • Explorar tecnologías de enfriamiento interna de rotores.
Eficiencia en la Manufactura	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el costo de producción para los motores CMR moldeados. • Aumentar la vida de los moldes para moldeados a presión en la producción de motores CMR, por ejemplo: costo-efectividad, insertos en moldes; revestimiento para crear barreras térmicas, o materiales para moldes de alta resistencia a temperaturas elevadas para moldeados a presión y que tengan propiedades térmicas o termo elásticas propicias para minimizar la tensión inducida térmicamente. • Desarrollar un método de bajo costo para lograr una mayor densidad de empaque (>80%) en el bobinado del estator.

Oportunidades Existentes/En Gestación: Interconexión electrónica

Los leadframes, enchufes, regletas de conexión, conectores separables y otras formas de conectores son ampliamente usados en equipos electrónicos. Las tasas anuales de crecimiento para estos aparatos actualmente varían entre 15 y 20%, debido al aumento global en la producción de productos electrónicos.



Los leadframes, que son comunes en todos los equipos electrónicos transistorizados, distribuyen las señales eléctricas y la energía entre chips de circuitos integrados (IC) y circuitos externos; transfieren calor desde los chips a los disipadores de calor y mantienen chips dentro del material encapsulado. Las conexiones son hechas soldando un hilo entre el chip IC y el leadframe.

Los leadframes comprenden actualmente más del 60% del mercado del empaque de semiconductores para las aleaciones de cobre, y la industria de leadframes continuamente se enfrenta a mayores requisitos de rendimientos para apoyar productos en los mercados de las memorias con entradas/salidas (I/O) de alta frecuencia; la demanda por alta frecuencia I/O corresponde al mercado computacional de alto rendimiento, peso liviano, empaque robusto utilizado en los equipos portátiles y de la industria automotriz. El proceso de miniaturización requiere una integración más densa de materiales disímiles para el refuerzo mecánico y un mejor desempeño. Las industrias de conectores y leadframes, por ser innovadoras, deben constituirse en socio viables para desarrollar programas conjuntos.

Tendencias, Problemas, Motivadores	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor miniaturización. • Reducción de costos de procesamiento. • Aumento de la competencia entre materiales. • Aumento de las restricciones regulatorias de ciertos elementos de aleación, tales como cadmio, plomo, etc.
Oportunidades y Directrices Recomendadas	
Miniaturización	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar conectores miniatura de banda de ancha alta para >10 Gbps con baja emisión de radiación e interferencia. • Mejorar la integración de circuitos de refrigeración de escala micro/nano dentro de los leadframes. • Desarrollar tecnologías para la administración de enfriadores ultra-compactos. • Definir el comportamiento eléctrico de las regiones de superficie y subsuperficiales del cobre y de aleaciones de cobre importantes.
Ambiente Térmico	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la adhesión del compuesto moldeado y la conductividad térmica para optimizar el desempeño térmico y la confiabilidad. • Desarrollar tecnologías de producción para los difusores de calor y productos de transmisión de calor con base de cobre usando técnicas y materiales para inhibir o aumentar el flujo de calor en la dirección deseada.
Tratamiento de Calor	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar procesos de solidificación preferenciales térmicamente (Ej., material de dopaje, introducción de semillas, zonas de crecimiento direccional asistida por enfriadores).
Unión	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar y desarrollar soldadura de partículas y tecnologías de fusión (Ej., CuproBraz®). • Expandir el conocimiento del comportamiento mecánico cuando se reduce la cantidad de cobre o aleaciones de cobre en sistemas pequeños. • Estudiar las interfases de cobre-a-material disímil para predecir la durabilidad de una estructura Compuesta.
Reciclaje	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar los métodos para recuperar materiales valiosos de componentes y tarjetas al final de la vida útil. • Mejorar el conocimiento de los temas sobre contaminación cuando se reciclan materiales con cobre integrado.

Oportunidades Existentes/En Gestación: Gestión Electrónica Térmica

La gestión térmica trata los problemas que se generan por la disipación del calor, y la tensión térmica inducida en los dispositivos microelectrónicos y optoelectrónicos. La gestión térmica es la clave para mejorar el desempeño, especialmente en sistemas electrónicos compactos, los semiconductores de energía en equipos de velocidad variable, equipos aeroespaciales, sistemas láser de alta potencia y electrónica automotriz. Las tecnologías de enfriamiento necesitan manejar dispositivos con flujos de calor de hasta 1000 W/cm² y posiblemente más altos.

Los disipadores de calor de cobre y las tuberías disipadoras de calor son ampliamente utilizados en la electrónica para eliminar el calor de los componentes hacia el exterior, eficientemente. Los circuitos térmicos flexibles hechos de composites de cobre conducen la electricidad junto con proporcionar una gestión térmica excelente para aplicaciones tales como las interfases de circuito y los arneses del cableado.



El cobre puede mejorar la gestión térmica de los sistemas electrónicos en todos los niveles, incluyendo el chip (ruptura dieléctrica, envejecimiento del transportador de calor, electromigración) paquete (agrietamiento de la matriz, popcorning en la soldadura) y tarjeta (fatiga de la uniones soldadas, delaminación de la tarjeta). Además los disipadores de calor construidos con composites de cobre con de cambio de fases pueden ayudar a manejar el calor en sistemas de

operación cíclicas, absorbiendo y disipando el calor desde la fuente. Debido a que el cobre es el material de transferencia de calor elegido en muchas en aplicaciones tales como sistemas de enfriamiento por conveccion forzada de aire de computadores y sistemas de enfriamiento con líquidos, la industria debe permanecer vigilante para mantener la posición competitiva del cobre.

Tendencias, Problemas, Motivadores	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementando energía y frecuencia aumenta el flujo de calor. • Incrementando el uso de mecanismos optoelectrónicos aumenta el flujo de calor. • Incremento en el uso de materiales disímiles con diferentes comportamientos térmicos.
Oportunidades y Directrices Recomendadas	
Gestión Térmica	<p>Semiconductores de Energía en Variadores de Velocidad, Aplicaciones Aeroespaciales, Sistemas Láser de Alto Poder y Electrónica Automotriz.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar composites de alta conductividad basados en cobre. • Desarrollar sistemas de composites de cobre pasivos para gestión térmica basados en materiales con cambio de fase. • Mejorar los sistemas de producción de placas de cobre para enfriamiento. • Desarrollar técnicas de producción para difusores de calor basados en cobre y de productos de transmisión de calor usando técnicas y materiales que inhiben o aumentan el flujo de calor en las direcciones deseadas. <p>Sistemas Electrónicos Compactos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crear superficies isotérmicas con sistemas más rápidos y más eficientes para remover, dispersar y trasladar el calor. • Desarrollar materiales y composites de elevada conductividad y dispersión térmicas.
Conexión de Cobre	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar conexiones de alta conductividad térmica en disipadores de calor de cobre a substratos de cerámica y dispositivos empaquetados. • Desarrollar métodos para producir las conexiones sin necesidad de calentar los aparatos hasta su destrucción.
Aparatos de Transferencia de Calor de Última Generación	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar procesos a micro-escala de mecanizado, conformación y ensamblaje para influir en el uso de materiales basados en cobre en intercambiadores de calor de fluidos. • Diseñar dispositivos de transferencia de calor de última generación a micro-escala usando fluidos de una fase (Ej., refrigerantes, calentadores) o fluidos de dos fases (Ej. evaporadores, condensadores, cañerías de calor, termo-sifones). • Desarrollar tecnologías de refrigeración integradas en chips. • Explorar tecnologías de onda del momento y onda térmica para aumentar el desempeño térmico de sistemas de aletas a micro-escala sobre 500 W/m²K.



Oportunidades Existentes/En Gestación: Intercambiadores de calor de aparatos eléctricos

Los actuales intercambiadores de calor de los sistemas de aire acondicionado residenciales se fabrican con tubos de cobre redondos que van desde 5 a 16 mm de diámetro. Debido al alto costo de los materiales y el deseo de obtener mayor eficiencia, los fabricantes están reemplazando los tubos de cobre redondos por tubos de diámetros menores, tubos de diferentes geometrías y/o tubos de diferentes materiales. Similares tendencias técnicas y de mercado se aplican a sistemas de refrigeración, expendedoras y sistemas de comercialización de alimentos.

Las tecnologías que usan tubos de cobre de menor diámetro (≤ 5 mm de diámetro) y tubos planos ofrecen importantes ventajas, entre ellas la reducción de tamaño, la reducción de carga refrigerante y menor costo. Los desafíos técnicos incluyen fabricar tubos planos, multi-puertos de bronce o cobre, capaces de soportar una presión de trabajo de 38.6 bar (560 psi) y una presión de rotura tres veces mayor que la presión de trabajo. Lograr soluciones rentables implica I&D en unión de materiales, fabricación de metales, ingeniería de diseño, transferencia de calor aplicada y desarrollo/optimización de aleaciones.

El R410A y otros hidrofluorocarbonos son los actuales refrigerantes preferidos que se utilizan en intercambiadores de calor de aparatos eléctricos. Los sistemas que usan el refrigerante R410A funcionan con una presión que es aproximadamente 60% mayor que sistemas similares que usan el R22, lo cual presenta implicaciones de diseño y oportunidades para el cobre. En el largo plazo, el dióxido de carbono puede convertirse en la alternativa preferida. Sin embargo, el continuo interés mundial por hidrocarburos refrigerantes, como el butano y el propano, significa que el cobre debe continuar considerando el uso de refrigerantes ecológicos en evolución. También existe interés en otras tecnologías, como la refrigeración magnetocalórica la cual puede influir en la intensidad del uso del cobre en este tipo de sistemas en el futuro.

Tendencias, Problemas, Motivadores	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la demanda por sistemas de aire acondicionado más eficientes y compactos. • Intensificación de la competencia entre los materiales. • Reducción de los costos de fabricación. • Cambios en refrigerantes para reducir el agotamiento de la capa de ozono.
Oportunidades y Directrices Recomendadas	
Fluidos Ecológicos de Última Generación	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizar los diseños de intercambiadores de calor de cobre para las próximas generaciones, uso de fluidos ecológicos de última generación y los posibles futuros refrigerantes, incluyendo las nano-partículas.
Intercambiadores de calor más Pequeños y Eficientes	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar evaporadores super-delgados para reducir el espacio a ocupar en una habitación y pérdidas innecesarias en los ventiladores para calefacción y ventilación doméstica, sistemas de aire acondicionado (HVAC), y aplicaciones en refrigeración. • Desarrollar herramientas de diseño y tecnología de producción para los intercambiadores de calor del aire acondicionado con tubos redondos de 5 mm o menos de diámetro. • Desarrollar métodos para fabricar tubos multi-canal planos y redondos e intercambiadores de calor (evaporadores y condensadores). • Elaborar métodos para el lograr el montaje y soldadura de los intercambiadores de calor hechos enteros de cobre en producción a gran escala. • Mejorar la conductividad térmica de la interfase tubo-a-aleta al expandirse mecánicamente 5 mm y en las condiciones de utilizar tubos de cobre con las aletas de aluminio.
Eficiencia Energética	<ul style="list-style-type: none"> • Explorar el uso de nanopartículas de cobre en los refrigerantes para mejorar la transferencia de calor. • Mejorar la condensación y la evaporación del refrigerante dentro de tubo redondos y multipuertos. • Desarrollar aletas de cobre de alto rendimiento en la transferencia de calor en tubos delgados. • Desarrollar sistemas que distribuyan el calor o la refrigeración sin aplicar energía para hacer circular un fluido.

Nuevas Oportunidades: Propulsión Eléctrica

Los sectores ferroviarios, marítimos, de construcción pesada y automotriz son importantes mercados que emplean la tecnología de propulsión eléctrica, donde el cobre es un componente integral. Los sistemas de propulsión eléctrica en el sector automotriz están experimentando un desarrollo sustancial, alejándose de sistemas basados en motores eléctricos relativamente simples y acercándose hacia unos de diseño más compactos y más eficientes.

Oportunidades adicionales incluyen los componentes de cobre para alta capacidad de corriente eléctrica y gestión térmica en los componentes electrónicos, así como la infraestructura para apoyar la recarga de vehículos eléctricos. Prometedores desarrollos se están llevando a cabo en sistemas de propulsión utilizando superconductores, incluyendo la construcción de grandes motores marinos a propulsión que son intensivos en cobre.

Los diseñadores de vehículos buscan motores más pequeños, menos costosos y más eficientes. La tasa de bobinado típica de las bobinas de cobre en los estatores de máquinas eléctricas es alrededor del 50-60%. Para acelerar la transición desde los sistemas de transmisión eléctrica automotriz hacia nuevos componentes intensivos en cobre, se debe aumentar la tasa de bobinado por encima del 80% con el fin de reducir el tamaño y el peso de los componentes.

Para cargar una batería de 35 kWh en 10 minutos se requiere de 250 kW. Una estación de carga eléctrica para cuatro automóviles necesitaría 1 MW. La carga rápida elimina la necesidad de almacenamiento de energía en gran escala y es mucho más atractivo para los consumidores que preferirían cargar los automóviles en casa o mientras están estacionados. La excelente conductividad térmica del cobre puede ofrecer soluciones de transferencia térmica que mejoran la capacidad de refrigeración/enfriamiento de las estaciones de carga rápida.

Los vehículos con celda de combustible requieren un área de transferencia de calor mucho mayor que los vehículos tradicionales con combustibles fósiles. Por ejemplo, algunos prototipos de vehículos con celdas de combustible requieren tres intercambiadores de calor en comparación con un solo intercambiador de calor en los vehículos tradicionales. Para hacer frente a las limitaciones de espacio, los dispositivos de transferencia térmica deben ser preferentemente ultra-compactos.

Un fabricante estadounidense recientemente introdujo motores de inducción con AC utilizando el rotor de cobre (CMR) como motores de tracción en camiones militares y comerciales. Se ha informado que algunos fabricantes de automóviles favorecen los motores de inducción con AC para vehículos de pasajeros, y para estas aplicaciones, la introducción de la tecnología CMR produciría una importante ganancia en el uso de cobre.



Tendencias, Problemas, Motivadores

- Creciente aceptación del consumidor por los vehículos eléctricos, creciente interés en vehículos eléctricos que se puedan enchufar.
- Creciente interés en los grandes motores superconductores de propulsión marinos.
- Constantes mejoras en la tecnología de las baterías.

Oportunidades y Directrices Recomendadas

- Desarrollar nuevas topologías de motores con mayor densidad eléctrica.
- Desarrollar la producción a gran escala de transmisión electromagnética para eliminar la caja de cambios.
- Desarrollar la tecnología de motores de inducción de alta velocidad, de alto voltaje y más pequeños.
- Explorar el rol que juega el cobre en conceptos avanzados de baterías.
- Aumentar la tasa de bobinado tope de cobre en las ranuras de las lámina del estator para superar el 80%.
- Explorar la necesidad de componentes de cobre en la infraestructura de carga.
- Continuar el desarrollo de bicicletas a propulsión eléctrica y de otros dispositivos de transporte personal.
- Desarrollar la propulsión eléctrica para aviones.

Nuevas Oportunidades: Energía Renovable

El cobre desempeña un importante rol en los sistemas de energía limpia, particularmente en los generadores, componentes electrónicos, cableado, controles y los equipos de protección utilizados en las plantas de energía: eólica, de las mareas, de los bio-combustibles, de las olas, geotérmica y térmica solares. Los sistemas solares fotovoltaicos necesitan cobre para la transmisión de corriente, las conexiones a tierra y diversos componentes del sistema. Los sistemas basados en energía oceánica pueden beneficiarse de la resistencia que tienen las aleaciones de cobre a la corrosión y a las incrustaciones biológicas. Los nuevos sistemas necesitarán ser aún más eficiente y producir un menor impacto al medio ambiente.



El desarrollo del uso del cobre en esta área puede requerir una estrecha cooperación técnica entre los tecnólogos que desarrollan los sistemas de energías renovables y la industria del cobre de modo de asegurar que se seleccionen los materiales de cobre más apropiado, las formas y las técnicas de procesamiento más adecuadas para las aplicaciones específicas.

El cobre es un importante “metal energético”, con notables propiedades térmicas y eléctricas que son de vital importancia en los sistemas de energía renovable.

Tendencias, Problemas, Motivadores	<ul style="list-style-type: none"> • Intereses nacionales en la mejora de la seguridad/confiabilidad de la energía. • Evitar la volatilidad del mercado y los problemas de suministro relacionados con los combustibles fósiles.
Oportunidades y Directrices Recomendadas	
<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas avanzados a gran escala o sistemas de distribución para: <ul style="list-style-type: none"> - Energía térmica solar - Generación de energía eólica - Energía eléctrica de las olas del océano - Energía solar fotovoltaica • Desarrollar dispositivos de almacenamiento de energía térmica compactos y basados en cambio de fase de los materiales que contienen cobre. • Desarrollar nuevas topologías en generadores capaces de una alta densidad de energía y eficiencia a baja velocidad rotacional de operación. 	

Nuevas Oportunidades: Acuicultura

La acuicultura es una industria global multimillonaria. Existe preocupación por la contaminación (incrustaciones) en las redes para peces por organismos marinos adheridos, la propagación de enfermedades infecciosas, el ataque de depredadores, la contaminación por los desechos de los peces y posibles amenazas a la salud humana debido a los antibióticos suministrados a los peces en las granjas de acuicultura. La combinación de las propiedades anti-incrustaciones, antibacterianas y la resistencia mecánica de las aleaciones de cobre resuelven estos problemas. La propiedad anti-incrustaciones del cobre y sus aleaciones permiten que fluya agua limpia y oxigenada a través de las redes o jaulas de los peces, eliminando los desechos y así manteniendo un medio ambiente saludable. Además, el cobre puede mitigar la propagación de enfermedades infecciosas mediante la eliminación del entorno que se crea alrededor de las incrustaciones (es decir, películas de algas y diversos Braquiópodos adheridos) o entorno al cual los agentes patógenos puedan prosperar, por lo tanto, se puede reducir o eliminar la necesidad de antibióticos. La resistencia mecánica y la flexibilidad de una estructura de aleación de cobre también impedirían el ataque de depredadores o la fuga de los peces. Además, a diferencia de las redes hechas de materiales sintéticos, las estructuras de aleaciones de cobre son completamente reciclables al final de su vida útil.

En la década de 1960 hasta la década de 1980, la industria del cobre desarrolló diversas jaulas con cobre para la acuicultura. Estas jaulas eran rígidas y no fáciles de reproducir a escala para una producción de gran volumen; sin embargo, demostraron el concepto en jaulas para peces de tamaño semi-comercial instaladas en granjas comerciales de salmones en Escocia y en los Estados Unidos. Las recientes mejoras en las aleaciones de cobre y en el diseño permite que las jaulas adopten la forma de redes tejidas

de alambre, con una vida útil superior a los cuatro años. Las redes también permiten un 50% más de peces por jaula, una tasa de crecimiento de los peces de 10-15% más rápida y el aumento de las ganancias para los propietarios de las granjas.



Tendencias, Problemas, Motivadores	<ul style="list-style-type: none"> • Expansión global de la acuicultura. • Reducción de las pérdidas de peces debido a los parásitos, los depredadores, las infecciones y la manipulación. • Alejamiento de las zonas costeras protegidas hacia zonas expuestas a condiciones marinas más severas. • Reducción del uso de antibióticos.
Oportunidades y Directrices Recomendadas	
Diseño de la Jaula	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizar el diámetro del alambre y diseño de la malla para diversas especies de peces. • Diseñar jaulas y sistemas de flotación para aplicaciones costeras y de alta mar. • Investigar sistemas sumergidos, y estructuras flotantes que puedan sumergirse de acuerdo a las necesidades. • Reducir el peso de la jaula al tiempo que se extiende su vida útil. • Reconsiderar las jaulas de metal de menor costo.
Desarrollo de Aleaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar aleaciones con mejor resistencia a la corrosión causada por el roce para evitar la pérdida de material. • Desarrollar / investigar las aleaciones que puedan satisfacer las necesidades de desempeño como anti-incrustación con una liberación óptima de iones de cobre.



Nuevas Oportunidades: Superficies Higiénicas

Según muchos estudios, las superficies (no en base a cobre) de las manillas de puertas, placas para empujar las puertas, barandas de las camas y soportes metálicos para escribir en los hospitales están infestadas con altas concentraciones de microorganismos, incluidos peligrosos patógenos. Una investigación avalada por la ICA que incluyó miles de pruebas estrictamente controladas en muestras metálicas de cobre bajo condiciones de laboratorio, confirmó que las superficies con un contenido de cobre mayor o igual al 65%:

- Destruyen el 99 por ciento de las bacterias residentes en dos horas;
- Previenen la re-infestación por 24 horas (o más); y
- En lo sucesivo, reducen continuamente el recuento de bacterias.

Así, la instalación de aleaciones de cobre en las “superficies de contacto” en los hospitales, las escuelas, los sistemas de transporte público y los edificios públicos deberían reducir la transmisión de enfermedades y al mismo tiempo generar un nuevo e importante mercado para el cobre y sus aleaciones.

La promoción del uso del cobre en las industrias de la salud y la manipulación de alimentos requerirá de la cooperación entre la industria del cobre y los posibles usuarios para garantizar una selección apropiada de aleaciones y formas de los productos.

En una aplicación relacionada, se sabe que las superficies ricas en cobre pueden impedir el crecimiento de hongos en los sistemas de aire acondicionado, mejorando la calidad del aire y manteniendo las superficies de intercambio de calor y drenaje de condensado funcionando en su óptima eficiencia.

Durante varios años se han estado realizando pruebas en superficies basadas en cobre y se espera la aprobación por parte del Gobierno de los EE.UU. para la promoción del cobre como un material bioestático. Las normas internacionales requieren que los dispositivos médicos cumplan con las regulaciones pertinentes y pasen las pruebas relacionadas con su aplicación. Las aleaciones de cobre, incluyendo algunos compuestos resistentes al opacamiento (tarnishing), han superado con éxito las pruebas en Alemania, y se están planificando pruebas de aleaciones de cobre para puertas y barandas para camas.

Tendencias, Problemas, Motivadores	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la resistencia de las bacterias a múltiples drogas. • Aumento de los viajes con lo que aumenta la velocidad y magnitud de la transmisión de enfermedades. • Aumento de las tasas de infección en los hospitales y comunidades. • Envejecimiento de la población, lo que implica menor resistencia a las enfermedades. • La necesidad de transferir datos exitosos del laboratorio a la clínica.
Oportunidades y Directrices Recomendadas	
<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar y promover productos higiénicos de cobre y de aleaciones de cobre. • Desarrollar o determinar los materiales/métodos óptimos de limpieza para superficies de aleaciones de cobre. • Mejorar la resistencia al envejecimiento para mantener su atractivo cosmético sin disminuir las propiedades antimicrobianas. • En última instancia, desarrollar productos de cobre y de aleaciones de cobre "inoxidables" con propiedades antimicrobianas permanentes. • Promocionar la transferencia de tecnología a los posibles productores de materiales higiénicos con cobre. • Promover el uso de las aletas y colectores de goteo en cobre en los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) en edificios, vehículos y transporte público. 	

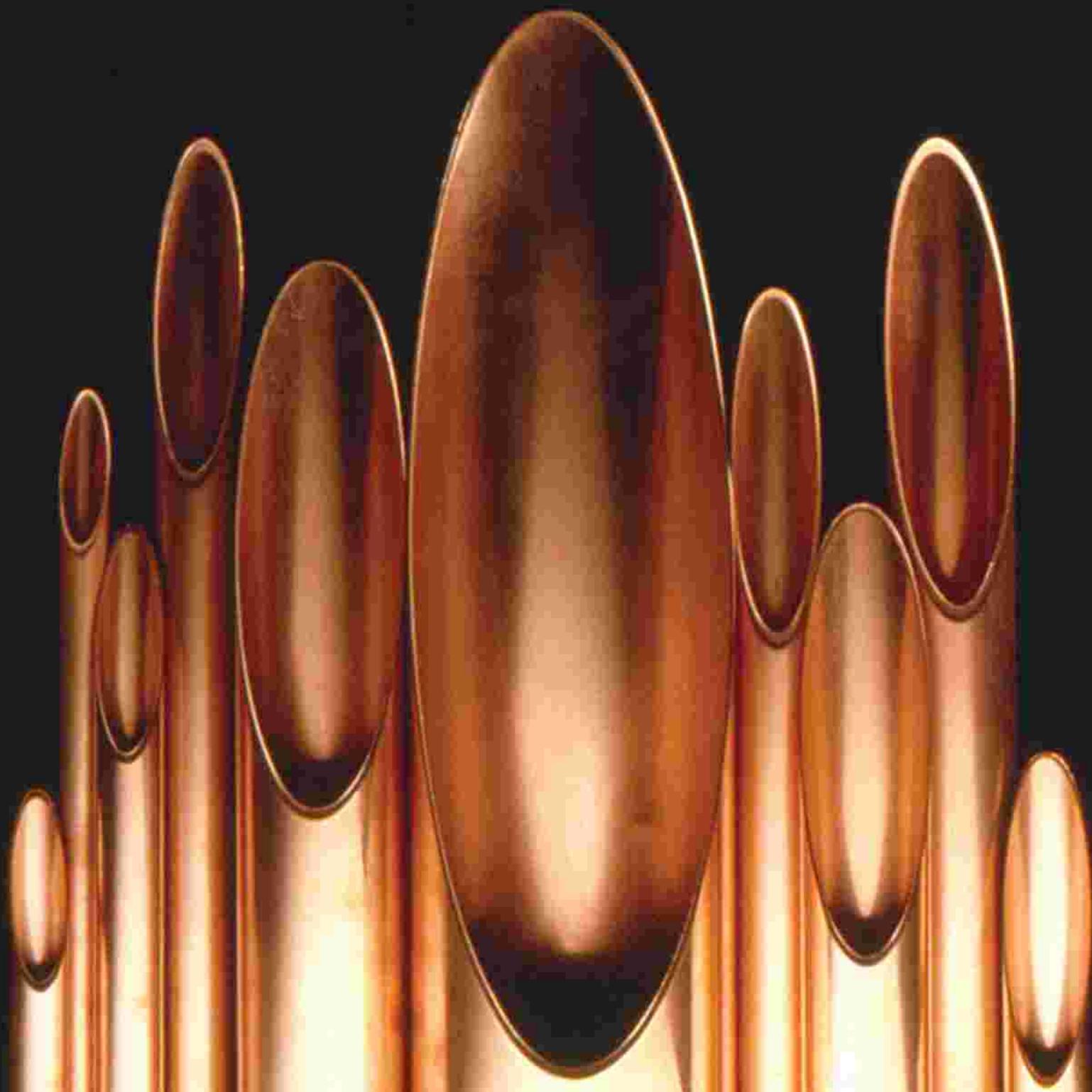
Nuevas Oportunidades: Aplicaciones futuras potenciales

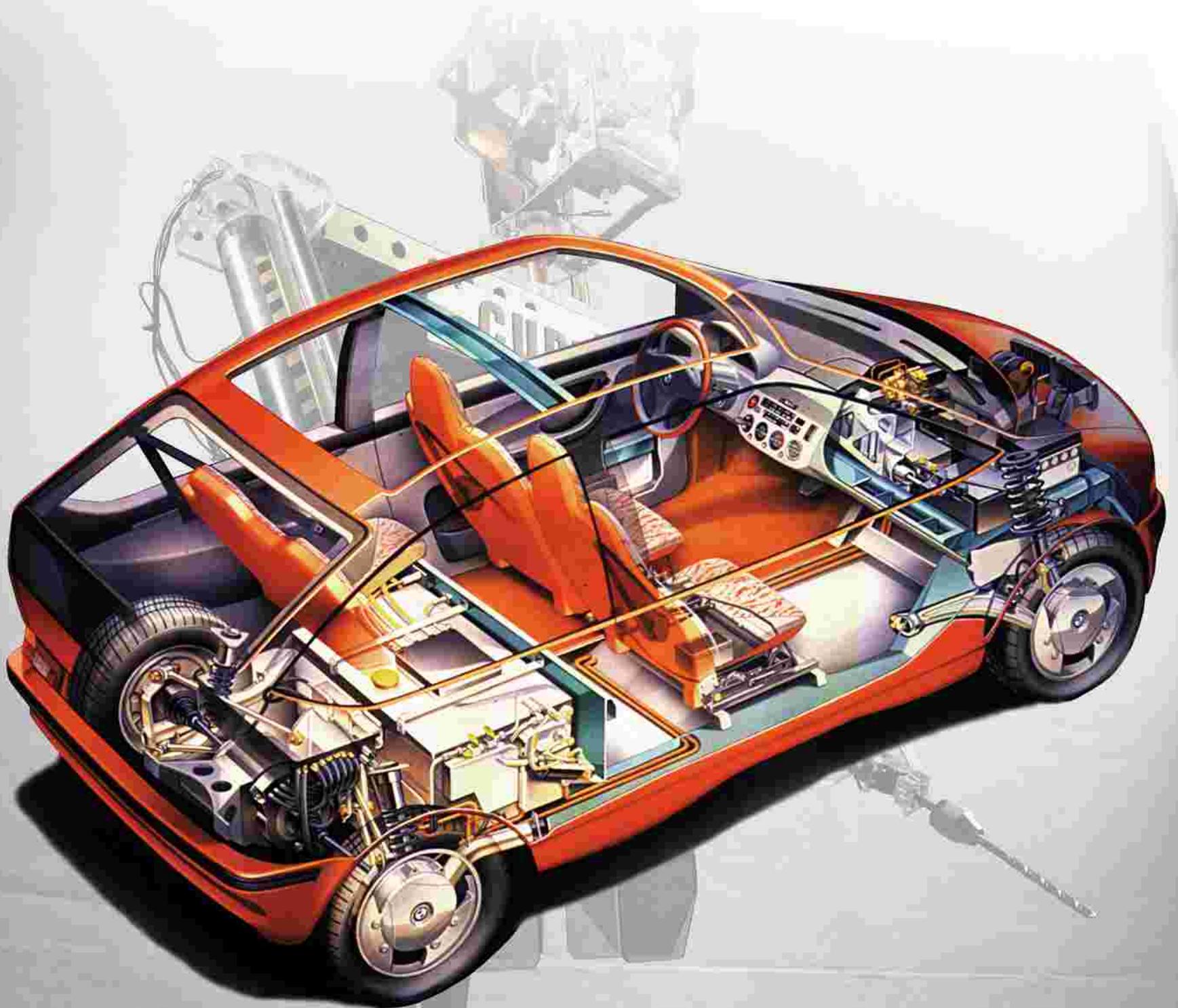
Además de las Áreas de Oportunidad presentadas en este documento, la industria del cobre busca otros proyectos aplicados que promuevan nuevas aplicaciones para el cobre, identifiquen los avances requeridos y describan un enfoque técnico creíble para su realización exitosa. Como se indicó anteriormente, la industria, actuando a través de la Asociación Internacional del Cobre Ltda, y su red de organizaciones nacionales/regionales que promueven el uso del cobre financia la investigación pre-competitiva que conduzca a la creación de nuevas e importantes aplicaciones del cobre. A los investigadores en el mundo académico o de la industria que estén trabajando ya sea en investigación básica o aplicada en relación con el cobre, y cuyo trabajo coincida con los intereses de la industria del cobre, se les anima a contactarse con el ICA.

Las propuestas pueden abordar problemas técnicos encontrados en el desarrollo de un producto específico o simplemente realizar una investigación exploratoria. Propuestas de investigación interdisciplinaria o que incluyan a colaboradores de la industria son bienvenidas. La ICA está siempre dispuesta a evaluar propuestas para su financiamiento.



Tendencias, Problemas, Motivadores	<ul style="list-style-type: none"> • "Fertilización Cruzada" de ideas y creatividad en conjunto a nivel mundial. • Digitalización, comunicación y computación dominantes. • Simulación y modelamiento de los fenómenos metalúrgicos. • Comprensión científica más profunda de los sistemas vivos. • Una mayor preocupación por las consecuencias sobre medios ambientales. • Propagación global del modelo de inversión de capital de riesgo.
Oportunidades y Directrices Recomendadas	
Ejemplos de Investigación Actual sobre Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar la tecnología para controlar el tamaño y el límite de la partículas en la formación de aleaciones de cobre, que posean al mismo tiempo: alta resistencia a la deformación y alta ductilidad. • Las zeolitas con cobre tienen el potencial de ser una solución económica para la desulfuración de los combustibles para el transporte. Las actuales tecnologías de desulfuración son prohibitivamente caras cuando se utilizan para eliminar trazas de azufre de los combustibles para el transporte. Se sabe que las sales de cobre tales como cloruro cuproso muestran una fuerte afinidad por la eliminación (absorción) de compuestos que contienen azufre. • La espuma de cobre combinada con un material que pueda cambiar de fase en el rango de temperaturas de aplicación tienen el potencial de mejorar significativamente la eficiencia energética de los edificios. Un producto compacto para la construcción de edificios que almacene y libere energía térmica puede proporcionar una temperatura interior uniforme con un reducido gasto de energía.





Innovación en la industria del Cobre

Un estudio de caso sobre los rotores de cobre para motores

A mediados de la década de 1990 se produjo un gran interés en el desarrollo de los motores de inducción AC más eficientes, más livianos y más pequeños para uso en la industria y los sectores gubernamentales. La aprobación de Ley de Política Energética de 1992 en los Estados Unidos y una legislación similar en Europa reflejaron una creciente conciencia de la importancia de la eficiencia de los motores en el gran ámbito de la conservación de la energía. La industria respondió con motores más eficientes mediante un aumento de la cantidad de cobre en el bobinado de los estatores, lo que reduce la resistencia, o pérdidas I²R.

Después de décadas de graduales mejoras en la eficiencia de los motores, quedaban posibilidades técnicas de lograr eficiencia significativamente mayores a un costo razonable. El rotor de cobre moldeado a presión parece ser la mejor alternativa con un potencial de reducir las pérdidas totales entre un 10% y 20%, en comparación con los rotores convencionales. Los rotores de cobre podrían tener menor volumen de metal, y así ser mas livianos y operar con mayor eficiencia a menor temperatura, aumentando la vida del motor. A pesar de estas ventajas, los métodos de moldeo a presión de cobre existentes no eran económicos para producciones a gran escala. Además, los fabricantes de motores exigían que el rotor de cobre moldeado a presión pudiese producirse en los equipos comerciales existentes.

Figura A.1 Comparación de un Rotor Tradicional (izquierda) con un Rotor de Cobre (derecha).



Persiguiendo la oportunidad

Reconociendo que un rotor de cobre era esencial para aumentar aún más la eficiencia de los motores y obtener con ello ahorros en costo y energía en las aplicaciones impulsadas por los motores, la International Copper Association Ltd. (ICA) comenzó a financiar un proyecto de I&D para crear un práctico rotor de cobre para motores adecuado para la producción en masa. Liderados por la Copper Development Association Inc. (CDA) de Estados Unidos, un consorcio de fabricantes de motores, fundidores y representantes de los gobiernos iniciaron (y financiados cooperativamente) el programa Die-Cast Copper Motor Rotor Program, (programa de Moldeo a Presión de Rotores de Cobre en Motores).

Desafíos

Los investigadores enfrentaron el doble desafío de reducir los costos de procesamiento y garantizar un adecuado rendimiento del rotor de cobre. Durante el proceso de moldeado, los aceros convencionales son susceptibles de craqueo (agrietamiento térmico) cuando las temperaturas oscilan de manera repetitiva desde unos pocos cientos de grados hasta el punto de fusión del cobre (alrededor de 2000° F; 1100° C). La vida de las matrices disminuye drásticamente en comparación con el uso de los metales tradicionales, que se funden a menor temperatura, y por lo tanto, inducen a las matrices una tensión térmica y fatiga significativamente menores.

Soluciones

El equipo liderado por la CDA determinó que podría reducirse el agrietamiento y extenderse la vida de los moldes haciendo dos cosas: reemplazar las partes críticas del molde de acero por una superaleación en base a níquel, dúctil y resistente al calor, y precalentar el molde a aproximadamente 600 ° C (1100° F). Estas acciones hicieron al proceso de moldeado a presión de cobre económicamente viable.

La forma de las barras del rotor y las ranuras del rotor fueron modificadas para mejorar aún más las características de funcionamiento del motor. La alta conductividad del cobre permite que el diseñador del rotor utilice el “efecto piel” -la tendencia del flujo de corriente alterna para congregarse en las superficies externas de los conductores- lo que mejora el torque de partida y el funcionamiento del rotor. El mejoramiento de estas barras continúa, pero el equipo ya ha transferido sus hallazgos iniciales a los miembros del sector industrial para ser aplicadas de inmediato y puedan realizar desarrollos posteriores en forma independientemente.

Resultados

En la primavera de 2006, un importante fabricante internacional de motores había adoptado la nueva tecnología de rotores de cobre moldeados a presión y lanzó al mercado una línea de motores extraordinariamente eficientes. Después de un año, los motores son ampliamente aceptados para su comercialización en los Estados Unidos. Actualmente, los motores son de hasta dos puntos porcentuales más eficientes que aquellos que cumplen las normas NEMA Premium™, y, por tanto, ofrecen costos sustancialmente menores en su ciclo de vida. La investigación en curso está dirigida a, entre otros parámetros, la optimización del diseño de las ranuras del rotor para aprovechar plenamente las propiedades de los rotores de cobre para motores. En el Centro para el Desarrollo de Tecnologías No Ferrosas en Hyderabad, India (Non-Ferrous Technology Development Centre

en Hyderabad, India) se siguen realizando otros trabajos en el proceso de moldeado a presión. Este trabajo cuenta con el apoyo de la ICA y con cofinanciamiento del Fondo Común para los Productos Básicos (UN Common Fund for Commodities) de las Naciones Unidas. La transferencia de tecnología está siendo llevada a cabo por diversas organizaciones relacionadas con el cobre y por el Programa de Tecnologías en Base a Cobre apoyado por el gobierno de los Estados Unidos.

Figura A.2 Acercamiento de uno de los muchos potenciales nuevos diseños de Rotor de Barra Soluciones.



Conclusión

El Programa de Rotores de Cobre Moldeados a Presión (Die-Cast) encarna los principios y los objetivos de la Guía de Innovación Tecnológica de Aplicaciones del Cobre. Dadas unas necesidades tecnológicas bien definidas, la industria ha organizado un consorcio de colaboración para financiar e implementar proyectos que produzcan soluciones innovadoras para el beneficio de toda la sociedad.

Propiedades fundamentales del Cobre

Puro o en aleaciones, en literalmente cientos de compuestos diseñados a satisfacer necesidades específicas, los metales en base a cobre proporcionan propiedades óptimas para innumerables productos.

- **Conductividad Eléctrica** - El cobre tiene una excepcional capacidad para transportar la corriente eléctrica, mejor que cualquier otro conductor no superconductor, excepto la plata. Hoy en día, el cobre en el cableado de los edificios tiene una tasa de conductividad superior al 100% de la norma internacional de los cables recocidos (International Annealed Copper Standard (IACS)), el máximo aceptado desde hace un siglo atrás. La excelente conductividad eléctrica del cobre significa que los motores con nuevos rotores de cobre pueden ser más pequeños y funcionar a menor temperatura que los motores tradicionales.

- **Conductividad Térmica** - El cobre conduce calor hasta ocho veces mejor que otros metales. Combinado con su intrínsecamente alta resistencia a la corrosión, su fácil conformabilidad y la conductividad térmica hacen del cobre un metal ideal para los intercambiadores de calor de todo tipo, incluyendo los sistemas solares de calefacción de agua. Dado que el calentamiento del agua tanto mediante el uso de electricidad como de gas es uno de los mayores gastos energéticos para cualquier edificio o casa, el cobre ofrece la promesa de reducir de manera directa y en forma significativa los costos de energía.

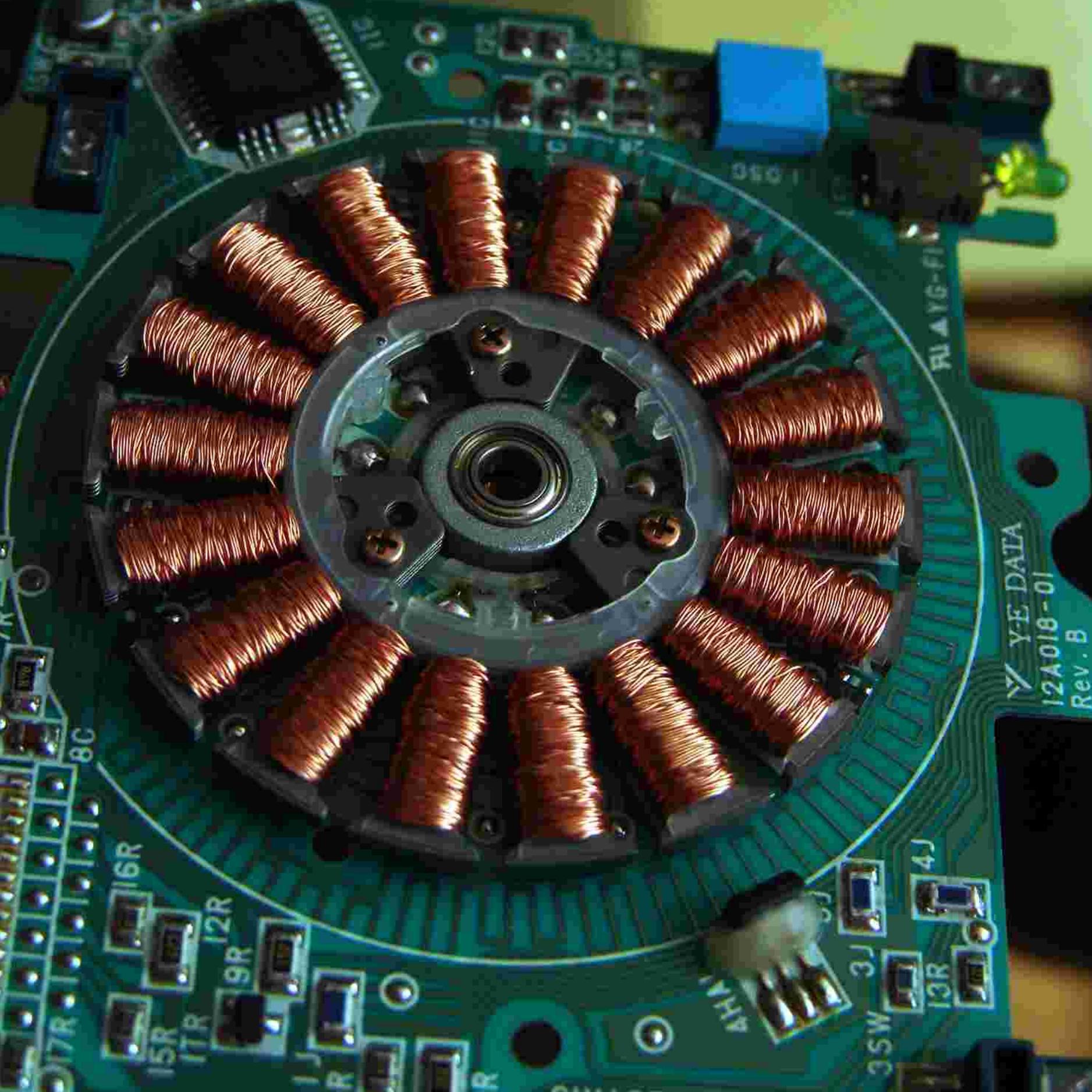
- **Conformabilidad** - La conformabilidad del cobre puede reducir el tiempo de instalación y reducir el costo de mano de obra, en particular en las actividades de plomería. Las cañerías y accesorios son fáciles de unir con soldadura y las uniones a presión reducen aún más los tiempos de instalación. El cobre y sus aleaciones son ubicuos en los componentes eléctricos y electrónicos, incluidos los interruptores, resortes que llevan electricidad, conectores, y leadframes. Los productos de cobre forjados en caliente y en frío son solicitados cuando se necesitan fiabilidad y buena maquinabilidad. La diversidad de aleaciones de cobre fundido también es abundante, particularmente cuando se combina la necesidad por resistencia a la corrosión con una buena conductividad térmica o eléctrica.

- **Resistencia a la Corrosión** - Los metales de cobre pueden resistir el ataque de una amplia gama de ambientes corrosivos, lo que los hace ideales para su uso en aplicaciones en las industrias de desalinización, productoras de energía, petróleo y gas en alta mar. En presencia de humedad y de una variedad de componentes atmosféricos naturales y artificiales, el cobre finalmente cambia a una pátina protectora y agradable que conserva su funcionalidad durante siglos.

- **Efecto Antimicrobiano** - Hoy en día existe una creciente preocupación por las infecciones contraídas en hospitales y aquellas que se originan en la industria procesadora de alimentos. Las propiedades bactericidas, fungicidas y, en cierta medida, antiviral del cobre, de los compuestos de cobre y de las aleaciones de cobre se han conocido durante siglos. El cobre y las aleaciones de cobre en superficies han demostrado ser un importante factor disuasorio para la transmisión de enfermedades bacterianas y fúngicas en lugares de asistencia a la salud y en los sistemas de tratamiento de aire.

- **Apariencia Color/Estética** - El cobre es utilizado cada vez más por su aspecto estéticamente placentero y la amplia paleta ofrecida por sus aleaciones. A medida que el uso del cobre se extiende a las superficies higiénicas, la "apariencia" del cobre ganará más aceptación por parte de los consumidores como un metal "saludable".

- **Fácil para Alearse** - La importancia industrial del cobre se ha extendido por la facilidad con la que se alea con otros metales. El resultado es una extensa familia de más de 400 materiales en uso hoy en día. Este esfuerzo está lejos de haberse agotado.



YE DATA
12A018-01
Rev. B

FUAYG-F1

1030

8C

16R

12R

9R

15R

11R

1J

R

R

4HA1

3J

3SW

4J

13R

4J

El Cobre y la sociedad

El cobre es esencial para los organismos vivos y juega un papel fundamental en la tecnología moderna. Desde los sistemas de riego de los antiguos reyes de Egipto hasta las invenciones revolucionarias como el teléfono celular, el cobre ha contribuido siempre al desarrollo de la sociedad.

El cobre es prácticamente el único metal utilizado en la transmisión de electricidad y de datos, el cobre contribuyó a dar los pasos a la era de las telecomunicaciones. Tal vez nunca en la historia de la humanidad -aún teniendo en cuenta el ritmo acelerado del progreso contemporáneo- un nuevo invento ha sido comercializado tan rápidamente como lo fue el teléfono. Introducido por primera vez en la década de 1930, el alambre de cobre para teléfonos fue utilizado en lugar del hierro para enviar débiles señales de voz, de alta frecuencia a más de 50 millas sin perder la señal a lo largo de la línea. Las características de un alambre fuerte, homogéneo y de alta conductividad fue sin duda el más importante atributo que favorecía al uso del cobre en las telecomunicaciones.

Combinada con su fuerza, resistencia a la corrosión y la durabilidad, la belleza natural del cobre ha inspirado a innumerables arquitectos y diseñadores a integrar el metal tanto en superficies exteriores e interiores de los edificios por milenios. El cobre ha cubierto y protegido algunos de los edificios más importantes de la antigüedad, así como también centenarias universidades, instituciones financieras, edificios gubernamentales y lugares de culto.

El cobre puede ser laminado en frío en hojas delgadas, que a pesar de su relativamente alta resistencia (en aleaciones templadas por rodillos o tratamiento térmico), pueden ser fácilmente transformadas en componentes conectores simplemente doblándolas. La combinación única de fuerza y conformabilidad hacen del cobre y sus aleaciones un metal ideal para su uso en aplicaciones en las que por acciones repetitivas se someten a tensión a los componentes, como por ejemplo los sujetadores, conectores eléctricos, resortes e interruptores eléctricos.

Necesidades a largo plazo de la sociedad

Mientras que el cobre todavía goza de la mayoría de sus usos históricos, sigue existiendo una gran parte de la población mundial que ni siquiera tiene acceso a la electricidad o agua potable. Además, las preocupaciones de la sociedad por mejorar la salud pública, por aumentar la eficiencia energética, la sustentabilidad del medio ambiente, y mejores niveles de vida han promovido el desarrollo de sistemas energéticos menos contaminantes, la acuicultura marina, la electrónica portátil, y casi ilimitadas comunicaciones a nivel mundial. Reconociendo el profundo efecto que la tecnología tiene en casi todos los aspectos de la vida, la industria del cobre planea continuar participando en el avance de la tecnología y explorar otros usos para el metal rojo. Al mismo tiempo, se deben adoptar medidas para fomentar una mayor integración entre la innovación tecnológica y algunas consideraciones más amplias por los temas sociales, económicos y medioambientales.

- **Mejorar la Salud Humana** - El cobre es necesario para el funcionamiento normal de las plantas, los animales, los seres humanos, e incluso los microorganismos. Está incorporado en diversas proteínas que realizan funciones metabólicas específicas. Dado a que el cobre es un metal esencial sus requerimientos dietéticos diario ha sido recomendado por una serie de organismos en todo el mundo. Algunos de los usos del cobre provienen de su capacidad de controlar el crecimiento de los organismos. Por ejemplo, se ha demostrado que el cobre es un efectivo agente anti-patógeno y anti-placa en los enjuagues bucales y pastas dentífricas. Las superficies de contacto hechas de cobre pueden ayudar en la prevención de enfermedades mediante el control del crecimiento de patógenos peligrosos.

- **Mejorar la Eficiencia Energética** - La energía desperdiciada eleva los costos para los consumidores y puede tener impactos medioambientales negativos. Las mejoras en la eficiencia de la energía eléctrica son útiles para asegurar mejores estándares de vida. La conversión a equipos eficientes en términos energéticos, especialmente motores premium y super-premium con rotores de cobre (CMR), así como bobinado de cobre en transformadores de alta eficiencia, ayuda a reducir costos y mitigar las emisiones.

• **Sustentabilidad del Medio Ambiente** - El reciclaje ha sido utilizado desde hace mucho tiempo para reducir al mínimo los residuos y para conservar recursos valiosos.

El cobre es 100% reciclable sin pérdida de rendimiento. No se “consume” en el sentido de “agotarse”. Más bien, se utiliza, se recicla y reutiliza una y otra vez (véase la Figura C.1). El cobre tiene la historia más larga en reciclaje que cualquier material conocido por la civilización. Se estima que el 80% de todo el cobre extraído de las minas durante los últimos 10.000 años se encuentra todavía en uso en algún lugar hoy en día.

Además, el cobre recuperado mediante el reciclaje también requiere 75-92% menos energía que la cantidad necesaria para convertir el mineral de cobre a metal.

• **Superiores Estándares de Vida** - La proporción de la población mundial que vive en las ciudades con más de 10 millones de habitantes está continuamente aumentando. El crecimiento de la población, sobre todo cuando se concentra en grupos que requieren enormes infraestructuras eléctricas, aumenta en gran medida la necesidad por materiales y energía; una necesidad que idealmente se debe satisfacer de una manera económica y respetuosa con el medio ambiente. Además, la población que envejece actualmente es grande y aumenta la demanda por tecnologías que ayuden a corregir la visión, audición, motricidad y otras deficiencias, lo que permite a las personas mayores seguir viviendo cómodamente como miembros activos de la sociedad. Lograr estándares de vida más altos en medio de un boom poblacional requiere de materiales y productos que puedan ayudar en el desarrollo sustentable y una mejor calidad de vida para todos.

Figura C.1 Reciclaje de Cobre: Refinación, Fabricación, Recuperación y Reutilización.



El Cobre hoy en día

Figura D.1. Cobre y Tendencias de la Población Mundial

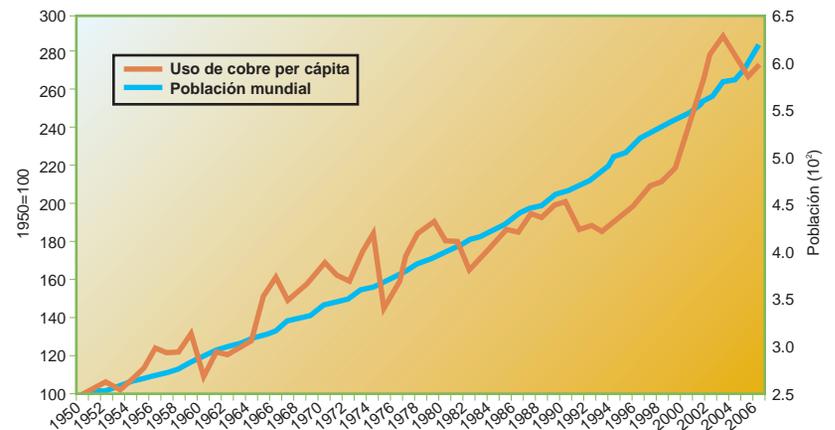
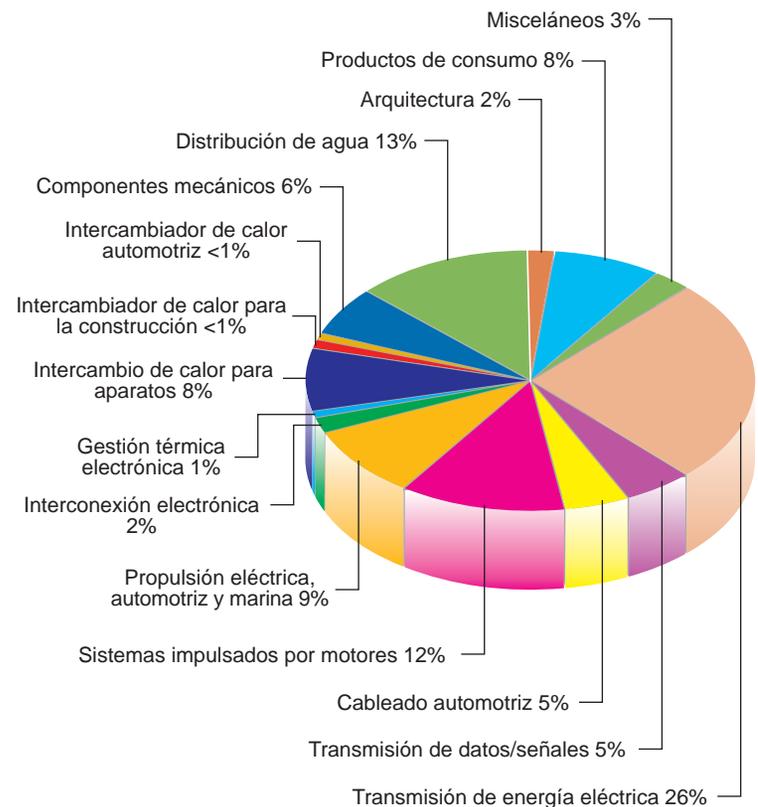


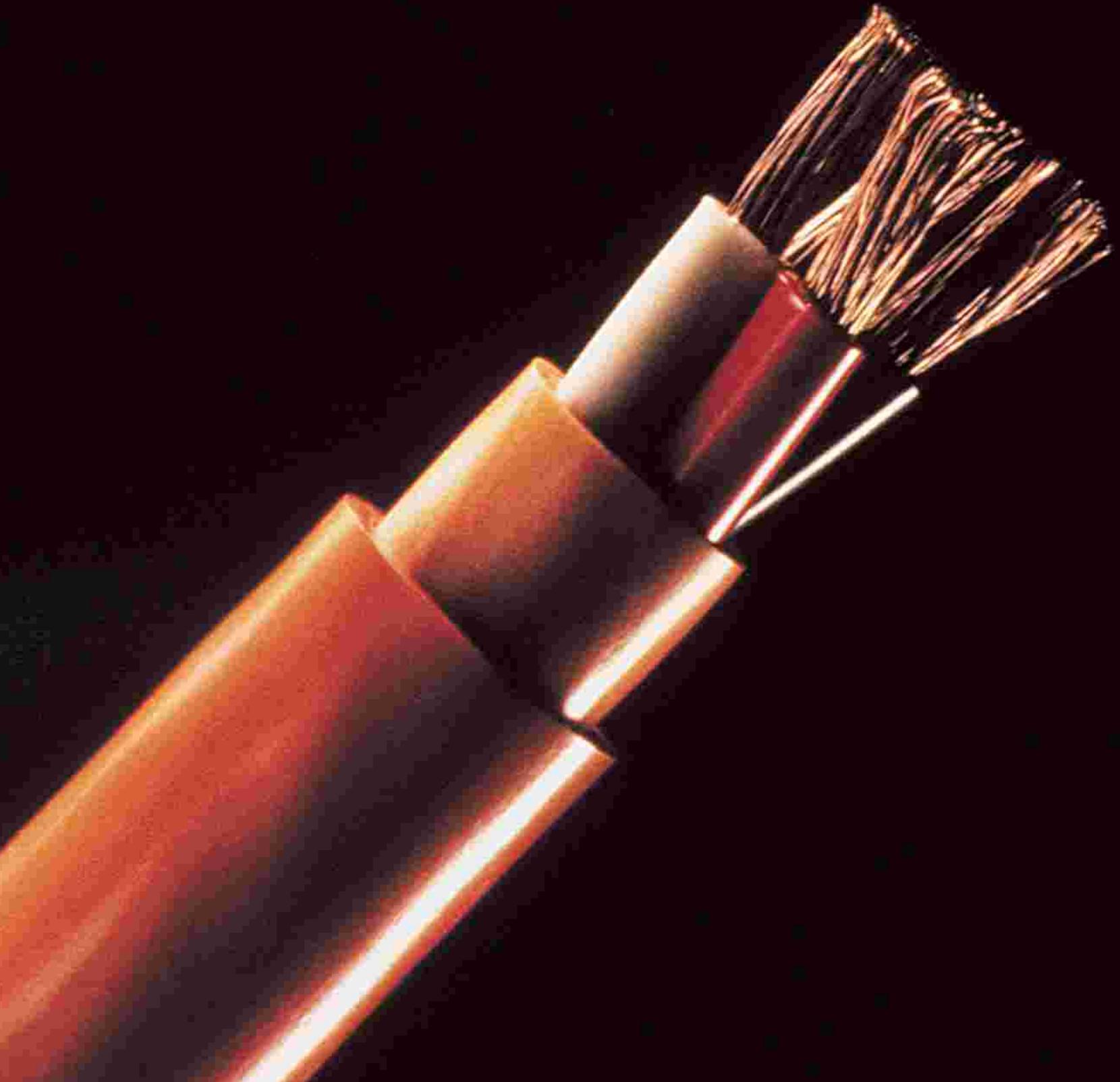
Figura D.2. 2006 Mercados finales para el cobre



En los últimos 50 años, el uso per capita del cobre se ha duplicado, aproximadamente, reflejando el rol del cobre en el avance de la tecnología, la expansión de la actividad económica y el aumento de los estándares de vida (Ver Figura D.1).³ El cobre es un importante contribuyente para muchos sistemas técnicos en las regiones desarrolladas como por ejemplo la construcción, la energía, las comunicaciones y el transporte. En las regiones menos desarrolladas, el cobre apoya la construcción de importantes bloques necesarios para elevar los niveles de vida, trayendo electricidad, agua potable y transporte eficiente para alimentar las economías en expansión.

En 2006, la demanda mundial de cobre refinado y reciclado fue de 22 millones de toneladas, con aproximadamente un tercio de esa demanda satisfecha por cobre reciclado a partir de chatarra de cobre.

La demanda por cobre proviene principalmente de la transmisión de energía eléctrica, de la transmisión de datos/señales y de los sistemas impulsados por motores en la industria. El alambre hecho de cobre recién refinado se utiliza aquí debido a las exigentes especificaciones de rendimiento y seguridad. Las tuberías y fitting industriales (por ejemplo distribución del agua) constituyen uno de los usos mas importantes del cobre después de los cables. La Figura D.2 ilustra los mercados finales para el cobre y sus porcentajes relativos del total del uso del cobre.⁴



Tendencias y desafíos que influyen en el uso del Cobre

De acuerdo a los planes de la industria del cobre para los próximos cinco años, se debe considerar cómo cambiará el uso de cobre en respuesta a las tendencias, las condiciones económicas y los diferentes impulsores del mercado, así como los obstáculos que estos factores pueden provocar. Aunque evidentemente es imposible predecir el futuro, una idea de las probables vías de desarrollo y prioridades se obtiene considerando las fuerzas tecnológicas, económicas y sociales que comúnmente influyen en las industrias del cobre a nivel mundial.

• **Reducción de los costos de procesamiento** - Durante las dos últimas décadas, las industrias de automotora y de los metales primarios se han visto obligadas a reducir su costo de fabricación, sin reducir la calidad. La industria de los semiconductores en la actualidad está muy preocupada de reducir los costos de las partes, y el aumento drástico de la demanda de bienes en China y en India ha hecho aumentar los costos de muchas materias primas, incluido el cobre. En las aplicaciones donde el cobre es el más adecuado para un uso específico o el riesgo de sustitución es demasiado alto, los fabricantes comenzarán a responder a los altos costos del cobre buscando procesos de fabricación y montaje más eficientes para reducir los costos. Los períodos prolongados de altos costos finalmente conducirán a la reducción de la cantidad de cobre a usar y, en última instancia, a la sustitución de éste por materiales alternativos.

La capacidad del cobre para ser fabricado como un metal forjado o en polvo (P/M) ha permitido una importante reducción en los

costos en una gran variedad de aplicaciones electrónicas. Por ejemplo, los componentes para fusibles del tipo blowouts de 150A y 200A utilizados en los equipos para la minería del carbón fueron producidos por la conversión de barras de cobre en polvo de cobre ahorrándose aproximadamente un 25% en el costo de producción.

• **Maximizar el valor agregado de la utilización de cobre** - Los diseñadores de productos finales tienden a buscar la mayor economía (es decir, la mínima cantidad) de material para una funcionalidad adecuada, evitando la sobre-ingeniería y manteniendo una aceptable vida útil del producto. El deseo de los procesadores de cobre de agregar valor (y ganancias) pueden ser satisfecho cumpliendo con los requerimientos del usuario final mediante el incremento del contenido de ingeniería en los productos, por ejemplo, una reducción de calibre, utilización de aleaciones especiales y perfiles, etc. Los productos de cobre de ingeniería son materiales de alto valor agregado que normalmente tienen mejor rendimiento que el cobre puro o productos elaborados por los métodos de fabricación convencionales. Estos productos, por ejemplo, son más ligeros, tienen rangos de temperatura de servicio más amplios, son multifuncionales o tienen menores costos por ciclo de vida.

La capacidad del cobre de funcionar bien, incluso cuando se le utiliza en espesores y peso reducidos, es una característica que produce un valor agregado. Por ejemplo, en las cañerías de cobre utilizadas para el agua potable, el grosor de la pared puede ser reducido de 1,0 mm a 0,3 mm sin destruir la funcionalidad. En colectores térmicos solares, la reducción del espesor de la lámina de cobre de 0,2 mm a 0,12 mm disminuye el uso de cobre y, por tanto, el costo de los productos, esto permite que el cobre mantenga el 60% de la participación en los productos en un mercado que aumenta a un ritmo de 30% por año en Europa. En aplicaciones automotrices, la conformabilidad del cobre y la alta conductividad le otorgan al metal una posición favorable al reducir el tamaño de los circuitos, conectores y arneses de cableado.

• **Aumento de la presión competitiva de otros materiales** - La naturaleza cambiante de la presión de la competencia obliga ahora a las empresas a competir en forma simultánea en varios aspectos del desempeño. Hace unos 15 años, el acero era considerado como un antiguo y pesado material de dudosa uniformidad que los fabricantes de automóviles amenazaron con hacer las partes principales de plástico. Ahora, después de 15 años de esfuerzo constante por mejorar la calidad, el acero sigue superando a los materiales de la competencia. El aluminio y otros materiales tienen similares historias de éxito que contar. El cobre, con sus características únicas, debe ofrecer mejoras que no se puedan lograr con otros materiales, disminuyendo así el efecto de sensibilidad al costo en la decisión de compra.

• **Cambio de reglamentos, códigos y normas** - Debido principalmente a mayores costos de la energía y a las preocupaciones políticas sobre la seguridad futura del suministro, la eficiencia energética ha subido rápidamente en la agenda política de la Unión Europea (UE). Las industrias están poniendo cada vez más atención al valor de la eficiencia energética y su efecto sobre la economía del ciclo de vida. Un buen ejemplo es que en la actualidad las exigencias de las instituciones con normas más altas en la eficiencia de los motores y el mercado para motores altamente eficientes premium y super-premium han aumentado a un ritmo acelerado. Los motores CMR de alta eficiencia, eficiencia premium y sobre todo eficiencia super-premium utilizan más de un 20% de cobre en los bobinados de los estatores y en los motores, también en las barras conductoras, en comparación con los antiguos motores de “eficiencia-estándar”.

Otras regulaciones que afectarán a la industria del cobre involucran los suelos, las aguas, los desechos y los sedimentos. En Asia, el aumento de la industrialización, el desarrollo de la infraestructura, y las construcciones residenciales y comerciales están impulsando a los gobiernos a apoyar los avances científicos para comprender el comportamiento de los metales y la toxicidad en los suelos, las aguas y los sedimentos. En los próximos años, también se revisarán regulaciones similares en Chile y América del Norte. También en Estados Unidos esta aumentando la preocupación por la carga de cobre en aguas y suelos derivadas de fuentes como la arquitectura, balatas de frenos de automóviles, fertilizantes, pinturas, el riego, etc; en varios casos importantes (por ejemplo, la regiones de Connecticut y la Bahía de San Francisco) estas fuentes han sido mitigadas por la aplicación correcta de la ciencia del medio ambiente.

• **Asegurar el desempeño de los productos que contienen cobre** - Cada vez más se utiliza la simulación computacional para predecir y validar el desempeño del cobre en las nuevas aplicaciones. La miniaturización y la integración de materiales impulsarán investigaciones adicionales en las propiedades mecánicas de los sistemas pequeños, el comportamiento de las regiones superficiales y sub-superficiales del cobre y sus aleaciones, los fenómenos que afectan a las interfaces del cobre con otros materiales y el impacto de una mayor integración de diferentes materiales en la reciclabilidad.

El desarrollo y la utilización de nuevas aleaciones, combinado con restricciones de diseño más estrictas, requieren que las propiedades de esas aleaciones (y otros materiales convencionales) sean conocidas o predecibles con una mayor certeza. Al mejorar el control de las propiedades térmicas, eléctricas, físicas y mecánicas se mejorará también el desempeño del cobre en las aplicaciones avanzadas.

• **Aumento del uso de materiales complementarios** - Los materiales que pueden cambiar las características de funcionamiento del cobre pueden agregarse a la superficie o incorporarse dentro del cobre. El cobre es utilizado más frecuentemente en combinación con otros materiales y las propiedades del sistema de materiales resultantes se ajustan a las necesidades de una aplicación específica. Los materiales complementarios aplicados a las superficies de cobre pueden proporcionar capas más delgadas de aislamiento eléctrico, protección contra la manipulación, protección contra la corrosión o muchas otras cualidades deseables.

La demanda por materiales con mayor razón de resistencia/peso ha llevado a aumentar el interés en los materiales compuestos, en los cuales se agrega un material de refuerzo dentro de otro material con el fin de aumentar la resistencia y durabilidad y, en algunos casos, reducir su peso. El cobre no es en sí un material con alta relación fuerza/peso y no es frecuentemente utilizado donde esta propiedad es singularmente especificada. No obstante, formulaciones tales como material composites donde el cobre es reforzado con fibras de carburo de silicio tiene una alta conductividad térmica y resistencia a temperaturas elevadas. Otras posibilidades basadas en este ejemplo deberían buscarse.

• **Diseño para la recuperación y reutilización** - El cobre y sus aleaciones son 100% reciclables y el cobre secundario es un importante material industrial. En forma rutinaria el cobre es extraído de automóviles, componentes electrónicos y de los edificios al final de su vida útil. Es importante para los ingenieros considerar en qué forma los productos serán desmontados y el cobre recuperado. Además, durante los procesos de fabricación, no todo el cobre se convierte en productos útiles y este material excedente necesita ser recuperado y reciclado. Es beneficioso que este material de chatarra permanezca no contaminado para facilitar su reutilización.

Implementación de la Guía de Innovación Tecnológica

La Guía de Innovación Tecnológica de Aplicaciones del Cobre continuará evolucionando a medida que la industria reaccione a las tendencias sociales, presiones de la competencia, desarrollos tecnológicos relacionados, así como las oportunidades imprevistas. Si bien no abarca todas las vías tecnológicas hacia el futuro, esta Guía de Innovación se centra en lo que sus colaboradores están convencidos que son las necesidades prioritarias para la industria del cobre y sus usuarios. Como tal, tiene la intención de orientar la planificación e implementación de programas de conjuntos de I&D que involucren a los productores de cobre, industrias que utilizan el cobre, universidades, laboratorios gubernamentales, empresarios y tecnólogos independientes.

Muchas de las organizaciones que participaron en la creación de esta Guía de Innovación invierten cada año importantes recursos en el desarrollo de productos innovadores, nuevas aleaciones de cobre y avanzadas tecnologías de procesos. Sus historiales de inversiones en tecnología es, y seguirá siendo, una de las principales fuentes de su propio éxito futuro en el mercado. Al trabajar juntos en el desarrollo de esta Guía de Innovación, la industria ha dado su primer paso en la transformación tecnológica del negocio. Sin embargo, la implementación de los cambios es el paso más difícil y complejo en el logro de los resultados deseados. Sin una idea clara de cómo poner en práctica la Guía de Innovación, ésta se convertirá en otro informe más para las bibliotecas.

El ICA implementará tres estrategias para la implementación de la Guía de Innovación Tecnológica de Aplicaciones del Cobre:

- **Actividades de divulgación y desarrollo de alianzas** involucrarán a las personas y organizaciones relevantes para inspirar nuevas ideas, adicionales, acerca de las oportunidades de aplicaciones futuras para el cobre y las actividades de I&D requeridas.
- **Foros de implementación de la Guía de Innovación** proporcionarán escenarios para promover una tormenta de ideas acerca de áreas de oportunidades específicas y difundir las conclusiones entre las redes creadas.
- **Supervisión de la Guía de Innovación y coordinación de Proyectos** involucra gestionar las interacciones entre las diversas organizaciones que participan en el uso de la Guía de Innovación. Históricamente la ICA ha tenido un papel de coordinador en el desarrollo e implementación de I&D para las principales aplicaciones del cobre; y la ICA continuará asumiendo ese papel. La ICA también liderará esfuerzos para garantizar el cofinanciamiento de terceros, incluidos los gobiernos, las organizaciones no gubernamentales y organizaciones industriales apropiadas.

La Figura 3.1 describe los principales pasos de la implementación. Estos pasos tienen por objeto catalizar el diálogo sobre el cobre y, posteriormente, poner en marcha y gestionar proyectos de aplicaciones del cobre. Se necesitará un liderazgo fuerte y perseverancia para garantizar que no se pierdan importantes oportunidades. Además, es importante lograr éxitos tempranos a fin de mantener el impulso generado por la Guía de Innovación y convencer a las empresas de que el modelo de colaboración tecnológica puede funcionar.

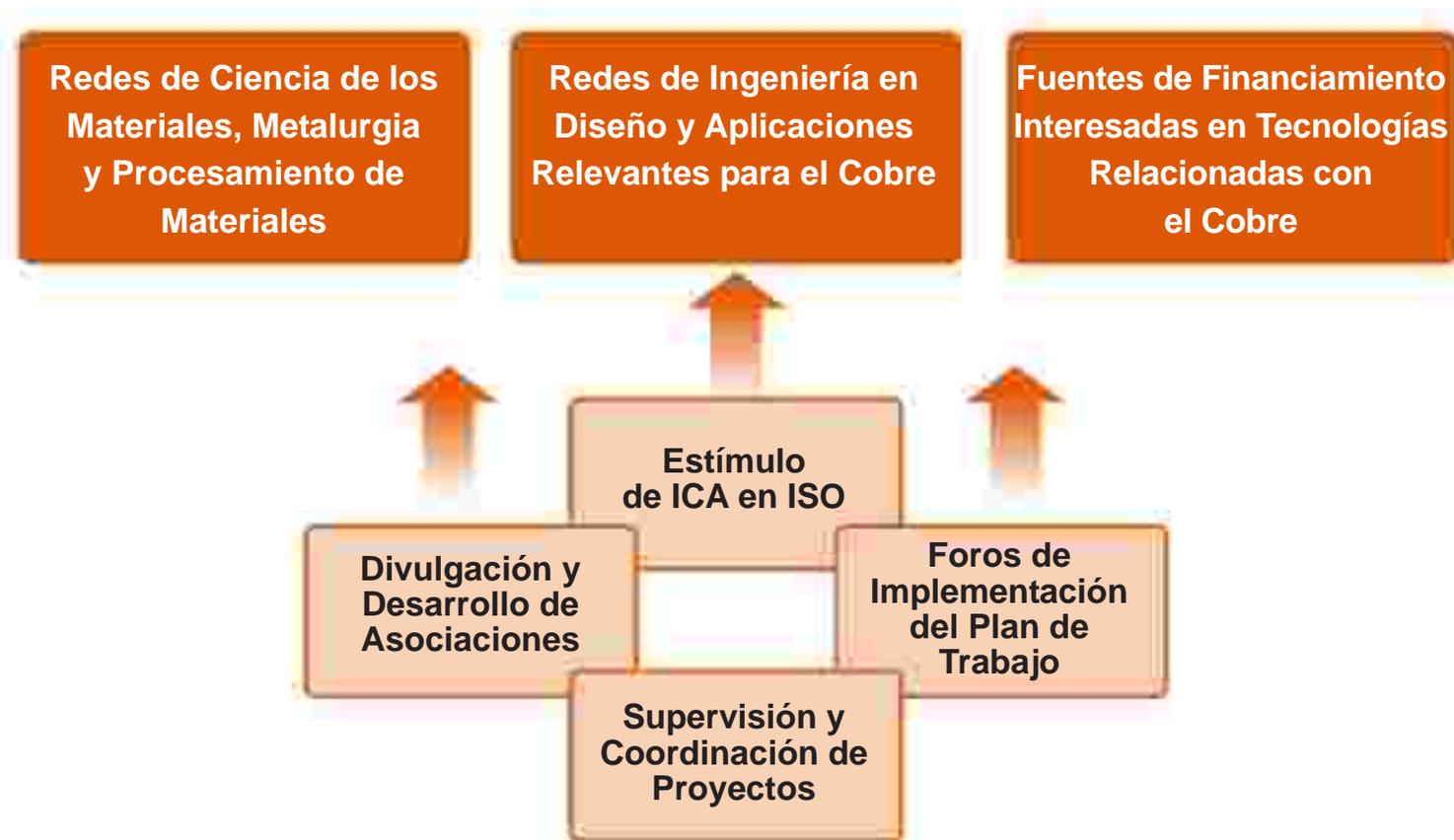
Difusión y desarrollo de alianzas

Las asociaciones en proyectos conjuntos aprovecharán los recursos y las capacidades existentes entre los semi-fabricantes de cobre, productores de componentes, fabricantes de los sistemas, y fabricantes de los equipos originales (OEM), las organizaciones gubernamentales, las universidades, los productores y otras partes interesadas. La combinación de las experiencias y las perspectivas desde todas las facetas de los mercados relacionados con el cobre asegurará de que sus necesidades se satisfagan. Además, la información y compartir costos minimizan la duplicación de los esfuerzos de desarrollo de tecnologías y maximiza el uso de recursos para lograr soluciones en forma eficiente. Si bien los roles precisos de las empresas y organizaciones en la aplicación de esta Guía de Innovación no se han determinado aún, estos roles irán tomando forma a medida que la Guía de Innovación sea difundida y revisada por los participantes.

Las actividades de difusión son igualmente importantes, dado a que ellas mantienen informados y actualizados a grupos de la industria en el mundo con respecto a las tecnologías y estrategias efectivas para aumentar el valor de los productos, usando las ventajas intrínsecas del cobre. Los foros en línea en la Web,

artículos de revistas, informes publicados, conferencias informativas, y actualizaciones de noticias en forma regular pueden aumentar la conciencia mundial respecto de los últimos desarrollos en las innovaciones del cobre.

Figura 3.1 Estimulando Conversaciones sobre el Cobre - Conectar Personas y Redes Dentro de los Dominios Claves y Estimular la Reflexión Acerca de Tecnologías Relacionadas con el Cobre.



Foros de implementación de la Guía de Innovación

Un foro sobre la implementación de la Guía de Innovación puede proporcionar los medios para recabar nuevas ideas para acelerar el progreso de los proyectos más sensibles al corto plazo. Si se determina que una oportunidad específica de la Guía de Innovación no está siendo tratada a través de los esfuerzos en desarrollo, los líderes de la industria del cobre, incluido el ICA, deberán actuar para organizar actividades que reúnan a toda la gama de especialidades necesarias para pensar de forma creativa sobre posibles respuestas. Esta inversión puede estar dirigida hacia la investigación aplicada, comercialización de la tecnología, la integración de productos, ensayos en terreno, formación/promoción, o cualquier otro medio o método que fomente una oportunidad en particular.

Antes de dar inicio a nuevos proyectos, la industria del cobre debe definir claramente los resultados esperados, los recursos y las capacidades requeridas, y la forma en que los resultados contribuirán a la consecución de un logro en particular. Cada uno de estos factores se integrará a los requerimientos para las propuestas de proyectos innovadores provenientes de las universidades, las empresas privadas, los laboratorios gubernamentales, los investigadores o, de la comunidad técnica.

Supervisión de la Guía de Innovación y coordinación de proyectos

La Guía de Innovación del Cobre alienta a las organizaciones y los particulares a participar de la manera que mejor capitalicen sus diferentes habilidades, capacidades, y los recursos para desarrollar las oportunidades descritas en este documento. Esto otorga a las empresas y organizaciones la flexibilidad para perseguir los proyectos que se correspondan con sus intereses particulares. Sin embargo, sin una estructura unificada será difícil identificar, organizar, financiar y hacerle seguimiento a las diversas actividades y sus correspondientes beneficios.

De acuerdo con su misión, la ICA puede desempeñar este rol proporcionando la necesaria supervisión y colaboración para iniciar y dotar de recursos a los proyectos y actividades.

La Misión de ICA:

Promover al cobre como el material de elección para los mercados actuales y nuevas aplicaciones, dados sus superiores atributos en lo que se refiere al desempeño técnico, el valor estético, la sustentabilidad y ser esencial para la vida, así como sus contribuciones para un mejor estándar de vida.

Referencias

1. Smolders, Jan A. Foreword to Civilization and Copper; The Codelco Collection by Leibbrandt, Alexander, p. 3. Translation by the International Copper Association, Ltd. (ICA). Santiago, Chile: Codelco, 2001.
2. "Furukawa Electric Develops Lighter Auto Wiring Harness for 2010-2012 Cars." Japan Metal News. 10 October, 2007, http://www.japanmetallbulletin.com/top_bn/nm071010.html
3. International Copper Study Group. "Focus on Copper: Consumption per Capita." Accessed December 12, 2007, http://www.icsg.org/Factbook/copper_world/intensity.htm.
4. Lea, Tony. E-mail message to author. 21 May 2007.
5. AMIRA International Ltd. Copper Technology Roadmap Summary. Melbourne, Australia: AMIRA International Ltd, 2004, <http://www.amira.com.au/documents/copperm/public.htm>
6. Bittencourt, Sergio, De Keulenaer, Hans, and McDermott, Mike. SEE Roadmap. New York, NY: International Copper Association, Ltd., 2004.
7. Copper Development Centre, Australia Limited (CDC). Building Construction Technology Roadmap-Executive Summary. Sydney, Australia: CDC, 2004, http://www.copper.com.au/cdc/technology_roadmap/roadmap/exec_summ.pdf
8. Lea, Tony. "ICA network survey on demand and substitution; 2006 developments and emerging trends." Internal Presentation, ICA, 2007.
9. Hoffmann, Uwe. "Recent Developments in High Performance Strip Alloys for Connectors." Paper presented at the annual Technical Seminar for the International Wrought Copper Council (rWCC) Technical Seminar Presentation, Tokyo, Japan 2005.
10. Sato, Akibumi. "Electric Distribution System for Automotive Application." Paper presented at the semi-annual joint meeting for the rWCC, Nuremberg, Germany, September 2006.
11. Klassert, Anton. "Change of Paradigm Activity." Progress Report, Deutsches Kupferinstitut, September 2007.
12. CRU. "ICA Substitution Analysis 2007." Internal document, ICA, 2007.
13. ICA "Copper & Clean Technology" Working PowerPoint slide, ICA, 2007.
14. ICA, "Copper-future themes." Preliminary study for discussion, ICA, 2006.
15. ICA. "Impact Matrix." Working PowerPoint slide, ICA, 2006.
16. ICA. "Long-term Drivers for Copper-Asia" Working table, ICA, 2006.
17. ICA. "Long-term drivers for copper use-Europe." Working paper, ICA, 2006.
18. ICA. "Project Posters Jan07 rev3" Working paper, ICA, 2006.
19. ICA. "Strategic Plan 2007-2011." Working paper, ICA, 2006.

Instituciones

Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA)

Av. Macul 5540, Macul, Santiago
Fono: 978 1468
www.inta.cl

Procobre Brasil

Antonio Maschietto, Jr., Director Ejecutivo
Av. Brigadeiro Faria Lima 2128 - 2 andar - conjunto 203
Cep 01451-903 - Jardim Paulistano, Sao Paulo - SP, Brasil
Fono: (55-11) 3816-6383 - Fax: (55-11) 3816-6383
Email: amaschietto@copper.org
www.procobre.org/br

Procobre Chile

Daniel de la Vega Wilson, Director Ejecutivo
Vitacura 2909 of. 303
Las Condes, Santiago, Chile
Fono: 56 (2) 335 3488 - Fax: 56 (2) 335 3264 x111
Email: DdelaVega@copper.org
www.procobre.org

Procobre México

Efrén Franco Villaseñor, Director Ejecutivo
Av. Sor Juana Inés de la Cruz 14 Oficina 305 - 54000 Tlalnepantla
Estado de México, México
Fono: (52-55) 1665-6330 - Fax: (52-55) 1665-6562
Email: efranco@copper.org
www.procobre.org

Procobre Perú

Miguel de la Puente Quesada, Director Ejecutivo
Calle Francisco Graña 665-671, Magdalena del Mar, Lima 17, Perú
Fono: (51-1) 261-4067 - Fax: (51-1) 460-1616
Email: mpunteq@copper.org
www.procobre.org

Editor

Hernán Sierralta Worstman

Director de Comunicaciones Latinoamérica
Email: HSierralta@copper.org

Contactos

Magdalena Araya

Ph.D. Universidad de Sydney, NSW, Australia
Médico Cirujano, Universidad de Chile, Pediatra Gastroenterólogo
Profesor Titular, Universidad de Chile
Investigador de Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA)
Universidad de Chile
Email: maraya@inta.cl

Manuel Olivares Grohnert

Médico Cirujano, Pediatra, Hematólogo-Oncólogo Infantil
Profesor Titular, Universidad de Chile
Investigador del Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA),
Universidad de Chile
Email: molivare@inta.cl

Fernando Pizarro

Tecnólogo Médico, Laboratorio Clínico
Profesor Titular, Universidad de Chile
Jefe de Laboratorio de Micronutrientes del Instituto de Nutrición
y Tecnología de los Alimentos (INTA), Universidad de Chile
Email: fpizarro@inta.cl

Guillermo Figueroa Gronemeyer

Tecnólogo Médico, Microbiólogo
Profesor Asociado, Universidad de Chile
Jefe de Laboratorio de Microbiología y Probióticos del Instituto de Nutrición
y Tecnología de los Alimentos (INTA), Universidad de Chile
Email: gfiguero@uchile.cl

Gustavo Lagos

Ingeniero de Minas, Universidad de Chile
Ph.D. en Electroquímica, Universidad de Leeds, Inglaterra
Posgrado en Procesamiento Mineral, Universidad de Leeds, Inglaterra
Magister en Ingeniería en Minas, Universidad de Chile
Director Centro de Minería Pontificia Universidad Católica de Chile
Email: glagos@ing.puc.cl