



International Copper  
Association  
Copper Alliance



# Perfil medioambiental del cobre





## Introducción

La International Copper Association (ICA) es la organización líder en la promoción del uso del cobre a nivel mundial. Su misión es reunir a la industria global del cobre para desarrollar y defender mercados para el cobre y contribuir positivamente a los objetivos de desarrollo sustentable de la sociedad.

Las 39 empresas afiliadas a ICA representan a la mayor parte de la producción mundial de cobre refinado y están entre los mayores productores, fabricantes y empresas de cables y alambres de cobre en el mundo.

Como parte de su responsabilidad con el desarrollo sustentable, la industria cuprífera está comprometida a proporcionar datos e información que permita a los usuarios del cobre evaluar sus impactos y beneficios a través del ciclo de vida, desde la extracción de la materia prima hasta el reciclaje al final de la vida útil.

Este perfil medioambiental sintetiza los resultados del análisis del ciclo de vida (ACV) del cátodo de cobre realizado por la International Copper Association. El perfil fue elaborado para proporcionar información del ciclo de vida desde la etapa de explotación hasta la producción de cobre a los involucrados en la cadena de valor del cobre. También puede obtenerse un conjunto de datos más detallado a solicitud para ayudar a usuarios intermedios del cobre a entender los efectos medioambientales de sus productos cuando realizan sus propios estudios de ACV.

## ¿Qué es el cobre?

### ¿De dónde viene el cobre?

El cobre está presente de manera natural en las rocas y el suelo, el aire y el agua, y es un material esencial para la salud y el bienestar humano, animal y vegetal.

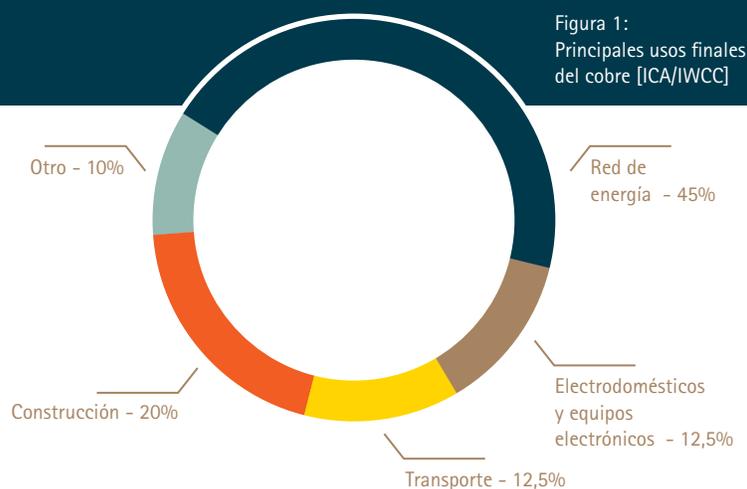
En promedio, la corteza terrestre contiene 0,0068% de cobre (aprox. 60 mg/kg). En algunas áreas, el cobre se ha concentrado en mayores niveles debido a procesos naturales geológicos y geoquímicos. Las concentraciones por sobre 0,2% (o 2000 mg/kg), encontradas en la superficie terrestre y de manera subterránea, se aprovechan como yacimientos.

Los depósitos minerales de cobre están esparcidos por todo el mundo. Los principales países mineros de cobre son Chile, EE.UU., Perú, China, Australia, Indonesia, Rusia, Canadá y Zambia.

Como otros metales, el cobre es 100% reciclable y mantiene su calidad (sus propiedades químicas y físicas) cuando se recicla. Más del 30% de la demanda mundial de cobre por año se cubre a través del reciclaje.

Reciclar el cobre aporta muchos beneficios medioambientales. Ahorra energía, reduce las emisiones de gas invernadero y otros contaminantes del aire, extiende la vida de los recursos naturales y evita que tierras valiosas se utilicen como vertederos.

En la actualidad, se usan  
anualmente casi 28 millones  
de toneladas de cobre.



## ¿Cómo se usa el cobre?

En la actualidad, se usan anualmente casi 28 millones de toneladas de cobre.

Casi el 70% del cobre producido a nivel mundial se utiliza para usos eléctricos, de conductividad y comunicación, como se muestra en la **Figura 1**.

Con excepción de la plata, el cobre es el metal con la mayor conductividad eléctrica. Esta propiedad hace del cobre el material preferido para la generación y transmisión de energía (45%), ya que suministra electricidad de manera segura y eficiente a hogares y empresas.

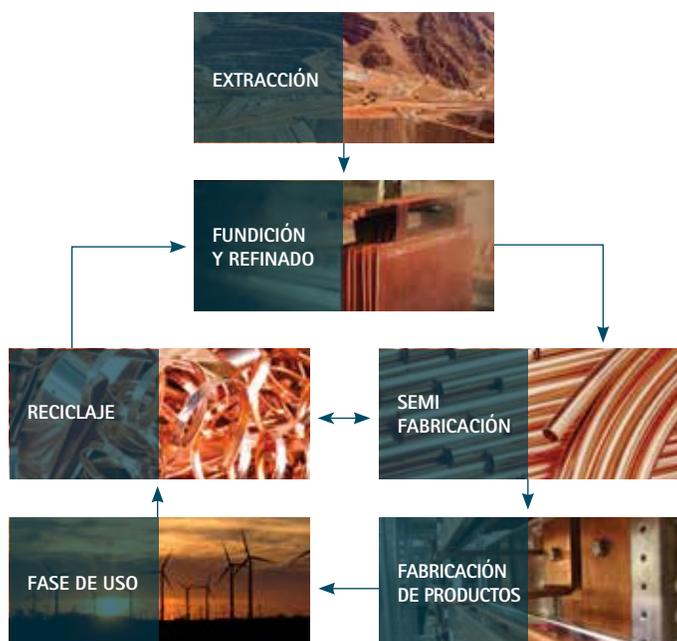
El uso del cobre en equipos eléctricos representa el 12,5% al proporcionar circuitos, cables y contactos para electrodomésticos y electrónica de consumo.

El sector transporte utiliza el 12,5% restante. El sistema de arnés de cables de cobre de alta pureza en un tren, automóvil o camión conduce la corriente desde la batería por todo el vehículo hasta dispositivos como las luces, el cierre centralizado, los computadores a bordo y sistemas de navegación por satélite.

Otro 20% de todo el cobre producido se usa en edificios para plomería, tejados y revestimientos. El cobre proporciona estructuras livianas, duraderas y sin mantenimiento que son naturalmente atractivas, duraderas y completamente reciclables.

El 10% restante se usa para monedas, esculturas, joyería, instrumentos musicales, utensilios de cocina y otros bienes de consumo.

Figura 2:  
Ciclo de vida del cobre



## El ciclo de vida del cobre

El cobre tiene seis fases principales del ciclo de vida: extracción, fundición y refinado, semifabricación, fabricación de productos, fase de uso y reciclaje. El reciclaje se lleva a cabo en fundiciones para la producción de cobre, así como con fabricantes para la producción de productos semiterminados.

El Inventario de ciclo de vida (ICV) del cátodo de cobre de la International Copper Association proporciona información medioambiental fundamental desde la fase de extracción hasta la fundición y refinado y, por lo tanto, sirve como una base importante para el estudio completo del ciclo de vida del producto. Como con cualquier material, los posibles efectos medioambientales del cobre se comprenden mejor en relación al producto o aplicación en que se use. Por ejemplo, cuando se utiliza como cable de cobre, su conductividad eléctrica puede mejorar la eficiencia energética de la energía: al usar los productos, hace que esos productos sean más sustentables en la fase de uso.

## ¿Cómo se produce el cobre?

Desde su entorno original enterrado bajo tierra en una mina a su uso en un producto terminado como cables o cañerías, el cobre pasa por varias etapas.

La producción primaria de cobre comienza con la extracción de minerales que contienen cobre. Existen dos formas básicas de extraer cobre: extracción de superficie o extracción subterránea. Debido a que el cobre se encuentra diseminado en áreas extensas en concentraciones relativamente bajas, la minería de superficie, o a rajo abierto, es el método predominante de extracción en el mundo.

Posterior a la extracción, el cobre se produce por una de dos rutas de procesamiento: la pirometalúrgica o la hidrometalúrgica.

Dentro de la ruta pirometalúrgica, el mineral extraído es chancado y molido, luego pasa a la etapa de concentración de cobre por flotación. El concentrado de cobre obtenido contiene en promedio un 30% de cobre, pero el grado puede variar de 20% a 40% [ICSG, 2016]. En el proceso de fundición que sigue, el cobre se transforma en "eje" que contiene entre 50% y 70% de cobre. El eje se convierte por fusión inmediata o se procesa en un convertidor lo que produce cobre blíster con contenido de cobre de 98,5% a 99,5%. En el siguiente paso, el cobre blíster se refina a fuego mediante la ruta de proceso tradicional o se vuelve a fundir y moldear en ánodos para la electrorrefinación. El resultado de la electrorrefinación es el cátodo de cobre refinado, que contiene más de un 99,99% de cobre.

Por otro lado, en el proceso hidrometalúrgico se extrae el cobre principalmente de minerales de óxido de baja ley y minerales de sulfuros a través de la lixiviación, la extracción por solventes (también llamada extracción de solución) y la electroobtención, a menudo denominados procesos SX-EW. El producto final es el mismo que el obtenido a través del proceso pirometalúrgico: cátodos de cobre refinado que contienen un 99,99% de cobre. En la Figura 2 se muestran los pasos básicos en la producción de cátodos de cobre refinado.

La producción secundaria de cobre utiliza una variedad de cobre secundario que contiene materiales como chatarra de cobre de metales desechados, ya sea en la semifabricación, en procesos de fabricación de producto terminado ("chatarra nueva") o de productos caducados que han llegado al final de su vida útil ("chatarra vieja"), así como de chatarra electrónica y otros materiales complejos. Los materiales que contienen cobre secundario se funden en hornos hasta obtener eje o cobre negro y luego se procesan en convertidores para obtener cobre blíster. El blíster se refina a fuego para obtener ánodos de cobre.

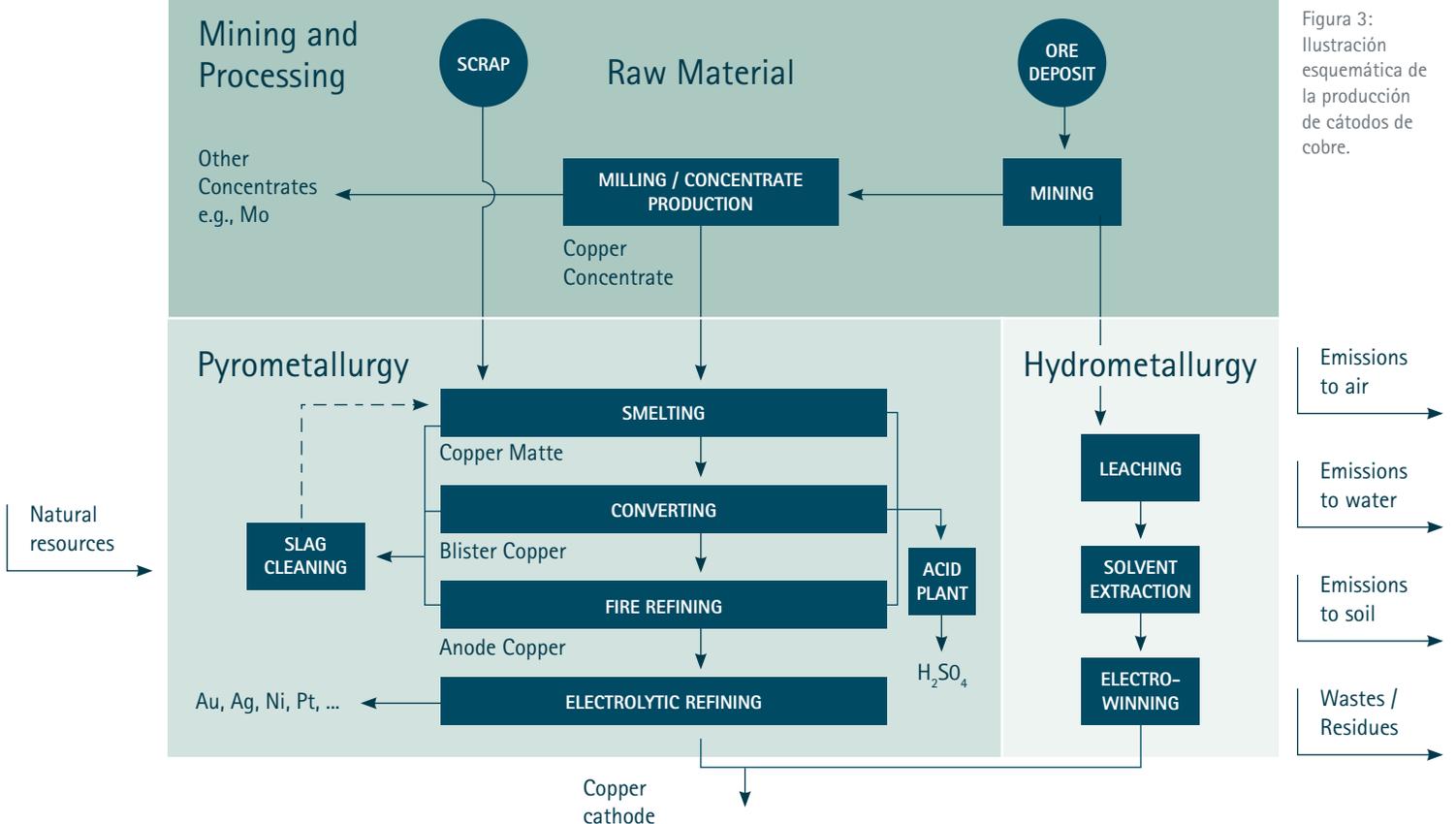


Figura 3: Ilustración esquemática de la producción de cátodos de cobre.

# Análisis del ciclo de vida (ACV)

El ACV es una herramienta para la toma de decisiones utilizada para identificar cargas medioambientales y evaluar los posibles efectos medioambientales de bienes y servicios durante su ciclo de vida de principio a fin. El ACV se ha normalizado según las reglas de la Organización Internacional de Normalización (ISO) y forma la base conceptual de un número de enfoques y normas de gestión que consideran los efectos del ciclo de vida de sistemas de producto.

Un estudio ACV típico contempla cuatro etapas, según se muestra en la Figura 4.

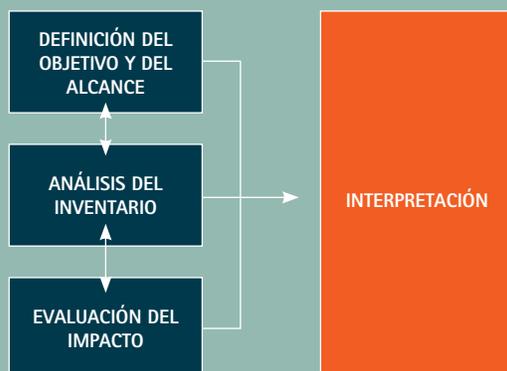
**Objetivo y alcance:** donde se confirman las unidades de referencia, el alcance y los límites, el público y los usos del estudio.

**Análisis del inventario del ciclo de vida:** donde se configura el sistema de producto y se recolectan los datos pertinentes de las entradas y salidas del sistema;

**Evaluación del impacto del ciclo de vida:** donde se evalúan los posibles efectos medioambientales asociados al sistema que se estudia; e

**Interpretación:** donde se interpretan los resultados para ayudar a los responsables de tomar las decisiones a comprender los factores más pertinentes que contribuyen al perfil medioambiental completo y a determinar las implicancias de cambios al sistema.

Figura 4: Estructura del Análisis del ciclo de vida\*



\*ISO. (2006). ISO 14044. Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida – Requisitos y directrices. Organización Internacional de Normalización, Ginebra.

## Definición del objetivo y del alcance

El límite del sistema del estudio incluye un inventario del ciclo de vida de principio a fin, desde la extracción del mineral de cobre en la mina hasta la producción del cátodo de cobre, tanto primario como secundario. El estudio se realizó de acuerdo con el conjunto de normas ISO 14040 sobre ACV y fue objeto de una revisión crítica por un panel de expertos.

Los objetivos específicos del estudio fueron:

- Crear los datos ICV más actualizados para la producción del cátodo de cobre por miembros de ICA.
- Promover la adopción de información ICV del cátodo de cobre en las principales bases de datos ICV, y
- Sentar las bases para la futura elaboración de perfiles de principio a fin de productos intermedios que contengan cobre y de productos de consumo final.

La recopilación de datos incluyó información anual representativa de 2013 para todas las rutas tecnológicas del proceso de producción del cobre: la pirometalúrgica, la hidrometalúrgica y la producción secundaria de cátodos de cobre. Los antecedentes eran representativos de los años 2010 – 2013. La unidad funcional de estudio fue 1.000 kg de cátodos de cobre.

La evaluación del impacto del ciclo de vida incluida en este documento analizó de qué manera la producción de cátodos de cobre afecta los indicadores medioambientales, esto incluye la demanda de energía, el calentamiento global, la acidificación, la eutrofización, la formación de esmog y la disminución de la capa de ozono.

Tabla 1: Resultados del ICV de 1 tonelada métrica de cátodo de cobre y concentrado de cobre.

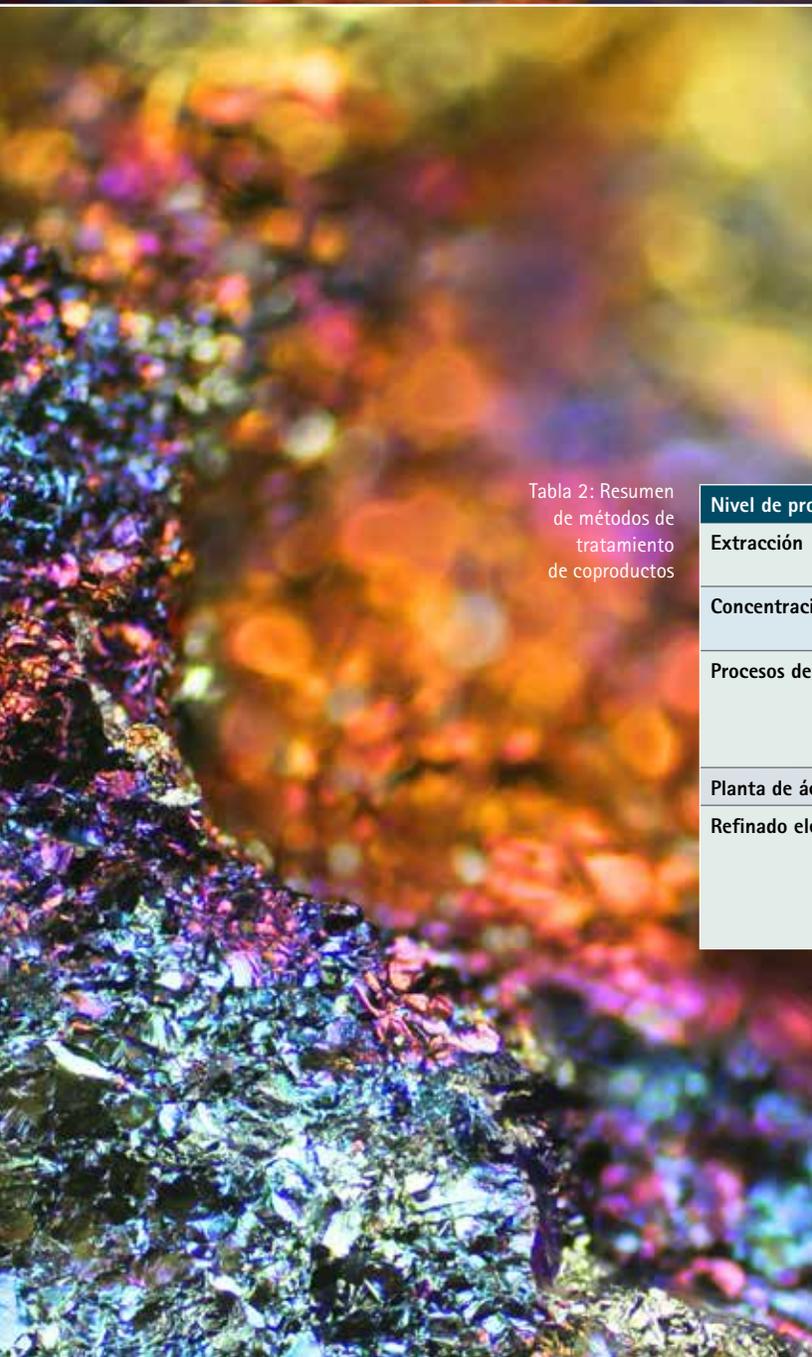
## El inventario del ciclo de vida (ICV)

El ICV es un paso clave en el proceso de ACV. El ICV cataloga todas las entradas y salidas medioambientales de un sistema de productos. Los datos pueden recopilarse de primera mano a partir de mediciones y cálculos de actividades clave, o pueden basarse en información obtenida de bases de datos existentes de ICV.

Para el ICV global sobre cátodos de cobre, se proporcionaron datos básicos específicos para el estudio por parte de las empresas afiliadas a la International Copper Association y se confeccionaron modelos usando bases de datos GaBi de 2014. El conjunto de datos incluye la producción en cuatro continentes y representa el 21% del volumen de producción mundial por año de cátodos de cobre, usando como referencia el año 2013.

En la **Tabla 1**, se puede ver un extracto del ICV completo. Se muestran los resultados para el cátodo de cobre y el concentrado de cobre, los principales materiales previos usados para producir metal de cobre primario.

Type	Flow	Concentrate (28% Cu)	Cathode	Unit
<b>Energy resources</b>	Crude oil	4,700	15,000	MJ
	Hard coal	4,800	17,000	MJ
	Lignite	580	2,600	MJ
	Natural gas	2,700	11,000	MJ
	Uranium	200	1,500	MJ
	Primary energy from hydro power	1,100	2,800	MJ
	Primary energy from solar energy	290	950	MJ
	Primary energy from wind power	130	450	MJ
	<b>Material resources</b>	Copper ore – Hydro route (0.4% Cu, avg.)	-	81,000
Copper ore – Pyro route (0.6% Cu, avg.)		40,000	85,000	Kg
Limestone		58	150	Kg
Sand		0.6	190	Kg
Water use (input)		850,000	2,100,000	Kg
Secondary copper containing materials (Cu content variable)		-	210	Kg
<b>Deposited goods</b>	Overburden	2,100	6,300	Kg
	Slag	-	300	Kg
	Tailings	29,000	47,000	Kg
	Tailings (leaching)	-	110,000	Kg
	Waste rock	59,000	180,000	Kg
	Waste (deposited)	9.0	130	Kg
	Hazardous waste (deposited)	0.0029	0.0030	Kg
	<b>Emissions to air</b>	CO <sub>2</sub>	990	3,800
CH <sub>4</sub>		1.7	6.5	Kg
N <sub>2</sub> O		0.13	0.36	Kg
NO <sub>x</sub>		4.3	17	Kg
SO <sub>2</sub>		4.9	43	Kg
NM VOC		0.54	1.8	Kg
CO		1.8	12	Kg
Dust (> PM10)		0.098	0.36	Kg
Dust (PM10)		1.3	2.0	Kg
Dust (PM2,5 - PM10)		0.20	0.64	Kg
Arsenic		0.00015	0.14	Kg
Copper		0.00050	0.0011	Kg
Lead		0.00038	0.0021	Kg
Zinc		0.0011	0.0029	Kg
<b>Emissions to water</b>		Ammonium/ammonia (NH <sub>4+</sub> / NH <sub>3</sub> )	0.021	0.069
	Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0.10	0.38	Kg
	Phosphate (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.011	0.031	Kg
	Biological Oxygen Demand	0.017	0.10	Kg
	Chemical Oxygen Demand	2.2	7.2	Kg
	Arsenic	0.00068	0.0078	Kg
	Copper	0.0010	0.0026	Kg
	Lead	0.00067	0.0017	Kg
	Zinc	0.00023	0.00081	Kg



La producción de cobre y el reciclaje permiten recuperar muchos valiosos coproductos metálicos y no metálicos a partir de materias primas primarias y secundarias, tales como metales preciosos (ej.: oro y plata), sulfato de níquel, zinc, plomo, estaño, ácido sulfúrico y silicato de hierro.

El tratamiento de coproductos fue un asunto metodológico clave para el cátodo de cobre. Básicamente existen tres procedimientos para tratar con los coproductos: subdivisión, asignación y expansión del sistema por sustitución. Tanto la asignación como la expansión del sistema por sustitución se aplicaron en el ICV del cátodo de cobre para explicar de forma equitativa el amplio rango de coproductos, como se muestra en la **Tabla 2**. El ICV presentado en la **Tabla 1** y los resultados mostrados en la sección 3.4 se calcularon todos después de aplicar las metodologías de asignación y de expansión del sistema

Tabla 2: Resumen de métodos de tratamiento de coproductos

Nivel de proceso	Coproductos	Método de tratamiento
<b>Extracción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mineral sulfurado</li> <li>- Mineral oxidado</li> </ul>	Asignación de la masa del contenido metálico
<b>Concentración</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentrado de cobre</li> <li>- Concentrado de molibdeno</li> </ul>	Asignación de la masa del contenido metálico
<b>Procesos de fundición</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Silicato de hierro (mediante escoria)</li> <li>- Aleación de plomo/estaño (fundición secundaria)</li> <li>- Vapor</li> </ul>	Expansión del sistema <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grava</li> <li>- Mezcla de plomo/estaño</li> <li>- Vapor</li> </ul>
<b>Planta de ácido sulfúrico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ácido sulfúrico</li> </ul>	Expansión del sistema
<b>Refinado electrolítico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cátodo de cobre</li> <li>- Metales preciosos (mediante residuos de ánodos)</li> <li>- Sulfato de níquel</li> <li>- Sulfato de cobre</li> </ul>	Asignación económica <ul style="list-style-type: none"> <li>- Promedio de 10 años</li> </ul>

Como se indicó anteriormente, un panel externo independiente revisó la metodología, la calidad de los datos y los aspectos de modelado del estudio. El panel revisor estuvo formado por expertos reconocidos a nivel internacional en el campo del ACV y fue presidido por el profesor Dr. Matthias Finkbeiner, Universidad Técnica de Berlín, Alemania. La declaración de la evaluación está disponible junto con el informe a pedido.



La EICV contribuye a que la industria del cobre identifique oportunidades de mejora dentro de sus operaciones.

## Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)

Posterior al ICV, se completó una EICV para ayudar a la International Copper Association y a sus miembros a determinar qué proceso o procesos son los que más contribuyen a los posibles impactos ambientales. La EICV contribuye a que la industria del cobre identifique oportunidades de mejora dentro de sus operaciones.

Las estimaciones de los posibles impactos ambientales se organizan en 5 categorías principales de impacto y demanda de energía, según lo descrito en la Tabla 3. Estas categorías de impacto se seleccionaron porque representan una amplia gama de impactos ambientales y cada una está determinada por un enfoque científico bien establecido. Para la EICV, se utilizó el método de caracterización del Centro de Estudios Medioambientales (CML, por sus siglas en inglés) de la Universidad de Leiden en los Países Bajos debido a su amplia aceptación a nivel mundial en la comunidad del ACV.

Tabla 3: Categorías de impacto de la EICV

Impact Category	Description
<b>Primary Energy Demand</b>	A measure of the total amount of primary energy extracted from the earth, including nonrenewable and renewable resources, and considering the efficiency of electric power and heating processes.
<b>Global Warming Potential</b>	A measure of greenhouse gas emissions, such as CO2 and methane, calculated using the IPCC 2001 Global Warming Potential Index (GWP100).
<b>Acidification Potential</b>	A measure of emissions to air known to contribute to atmospheric acid deposition (acid rain).
<b>Eutrophication Potential</b>	A measure of emissions that cause hypertrophication, or excessive richness of nutrients (nitrogen and phosphorus), to the environment.
<b>Photochemical Ozone Creation Potential</b>	A measure of emissions of precursors contributing to low level smog, produced by the reaction of nitrogen oxides and VOCs under the influence of UV light.
<b>Ozone Depletion Potential</b>	A measure of the relative amount of degradation to the ozone layer a chemical can cause, with trichlorofluoromethane (R-11 or CFC-11) being fixed at an ODP of 1.0.



## Study Results

The absolute results of the global LCIA for copper cathode are shown in [Table 4](#). The relative results, by process step and category, can be seen in [Figure 5](#).

The LCIA results help to focus the copper industry's attention toward addressing priority issues for improving environmental performance.

The study found that direct sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) emissions released during smelting and not captured for use in the sulfuric acid plant have significant contribution toward the environmental impact categories of Acidification Potential and Photochemical Ozone Creation Potential. This is dependent on regional regulations and installed desulfurization technologies. These results confirm the continuing importance of reducing on-site emissions of sulfur dioxide by the copper industry.

For the environmental impact category of Global Warming Potential, emissions from purchased electricity are the most significant contributors. As a result, the environmental profile of copper is significantly determined by the electricity grid mix of the region in which the copper is produced. In addition to electricity, diesel combustion during mining was significant.

Eutrophication Potential results are driven by NO<sub>x</sub> emissions primarily associated with diesel combustion, both during mining and, for some sites, the intermediate transport of concentrate to the smelter. Electricity contributes around one-third of the burden, particularly for grids with high coal power plant shares.

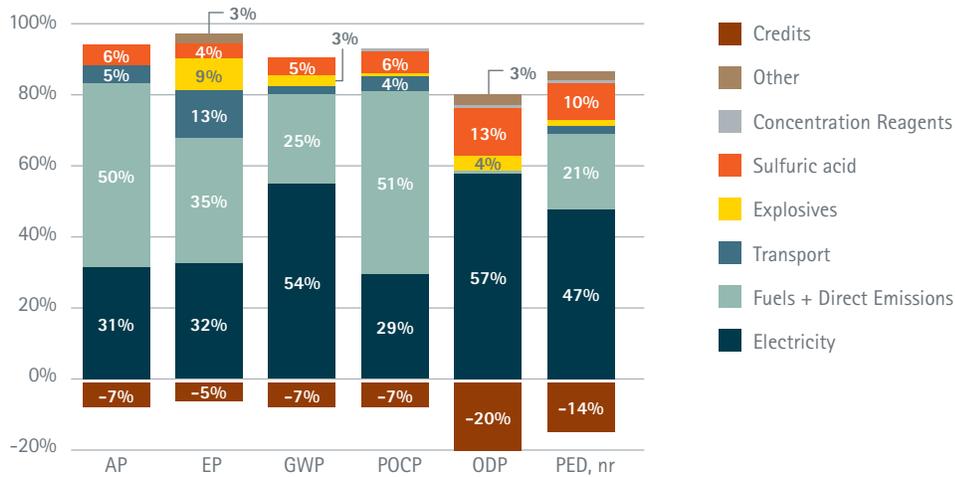
For Ozone Depletion Potential, impacts are almost entirely due to the release of R 114 (dichlorotetrafluorethane) emissions and are highly dependent on the presence of nuclear power plants within the electricity grid.

With the large contribution of emissions attributable to purchased electricity, the study results highlight a role for the copper industry to play in advocating for environmentally preferable sources of electricity in the regions in which copper producers operate.

LCIA Impact Categories	Results per Metric Ton of Copper Concentrate (28% Cu)	Results per Metric Ton of Copper Cathode	Unit
Primary Energy Demand, nonrenewable (PED)	13,000	47,000	MJ
Global Warming Potential (GWP 100 years)	1,100	4,100	kg CO <sub>2</sub> -Equiv.
Acidification Potential (AP)	8.2	61	kg SO <sub>2</sub> -Equiv.
Eutrophication Potential (EP)	0.73	2.7	kg Phosphate-Equiv.
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	0.60	3.5	kg Ethene-Equiv.
Ozone Depletion Potential (ODP)	1.7E-08	1.2E-07	kg CFC-11-Equiv.

Table 4: Results of the LCIA for Copper Cathode

Figure 5: Relative Results for Copper Cathode, by Category



Future users of the cradle-to-gate inventory are free to apply other metrics as long as the limitations outlined are considered.

Abiotic depletion potential (ADP) was excluded from the study due to the lack of robustness and accuracy the metal and mining industry associates with the characterization factors used within the CML methodology (Drielsma, et al., 2016). Similar reasons explain the exclusion of toxicity impacts. Additionally, due to the lack of primary data available to some participating companies for water use and metal emissions, categories addressing water impacts were excluded from this analysis. Finally, land use change is excluded due to concerns with the robustness of the characterization factors within this methodology by the metals industry.

It should be noted that the inclusion of ADP, land use change and toxicity is recommended within the Product Environmental Footprint (PEF) methodology. However, its exclusion here aligns with the criticisms presented in the "Harmonization of LCA methodologies for the metal and mining industry" (Santero & Hendry, 2016) and the lack of maturity of these methodologies discussed in "EU Product Environmental Footprint—Mid-term Review of the Pilot Phase" (Lehmann, Bach, & Finkbeiner, 2016).

Copper production and recycling enables the recovery of metal and nonmetal co-products from the primary and secondary raw materials such as precious metals, nickel, zinc, lead and sulfuric acid.



## References

- Drielsma, J., Russell-Vaccari, A., Drnek, T., Brady, T., Weihed, P., Mistry, M., & Perez Simbor, L. (2016). Mineral resources in life cycle impact assessment—defining the path forward. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 85–105. Retrieved from <http://rd.springer.com/article/10.1007/s11367-015-0991-7>
- ICSG. (2017). *The World Copper Factbook*. Retrieved from <http://www.icsg.org/index.php/component/downloads/viewdownload/170/2202>
- Lehmann, A., Bach, V., & Finkbeiner, M. (2016). EU Product Environmental Footprint—Mid-Term Review of the Pilot Phase. *Sustainability*, 8(1), 92.
- Santero, N., & Hendry, J. (2016). Harmonization of LCA methodologies for the metal and mining industry. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1–11. Retrieved from <http://rd.springer.com/article/10.1007%2Fs11367-015-1022-4>

Para mayor información,  
por favor contactar a:

**ANDREA VACCARI**

International Copper Association  
[andrea.vaccari@copperalliance.org](mailto:andrea.vaccari@copperalliance.org)  
[www.sustainablecopper.org](http://www.sustainablecopper.org)

**LADJI TIKANA**

Deutsches Kupferinstitut Berufsverband e.V.  
[ladji.tikana@copperalliance.de](mailto:ladji.tikana@copperalliance.de)  
<http://copperalliance.eu/about-copper/life-cycle-centre>