

# Webinario Internacional de Economía Circular en la Producción y Uso de Metales



*Guillermo González C.*



*Dr. Ing. Gerardo Zamora E.*



*Ana Zúñiga Sanzana*



*Dra. Ariana Carrazana*



*Dra. Romina Cayumil*



*Dr. Mario Sánchez*

*Auspiciado por:*

**PAMPA NORTE | BHP**



Educación  
Continua

*Patrocinado por:*



Universidad de Concepción





**UNIVERSIDAD  
ANDRÉS BELLO**

# OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS DE LA MINERÍA URBANA EN CHILE: EJEMPLOS DE COLABORACIÓN ACADEMIA-INDUSTRIA

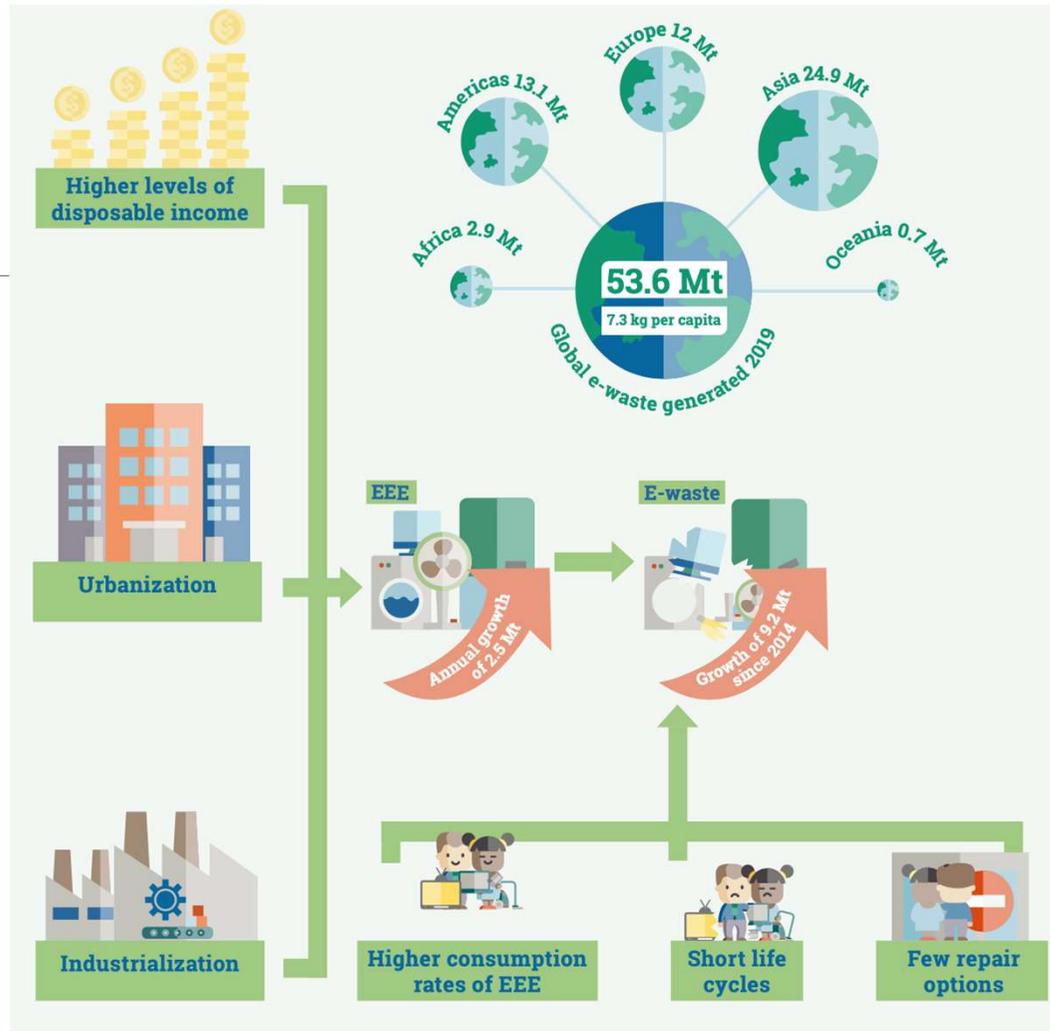
ROMINA CAYUMIL, PHD

---

19 DE NOVIEMBRE DE 2021



**UNIVERSIDAD  
ANDRÉS BELLO**



Consumo mundial anual de EEE (2019):  
2,5 millones de toneladas métricas (excluidos los paneles  
fotovoltaicos)

Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam.

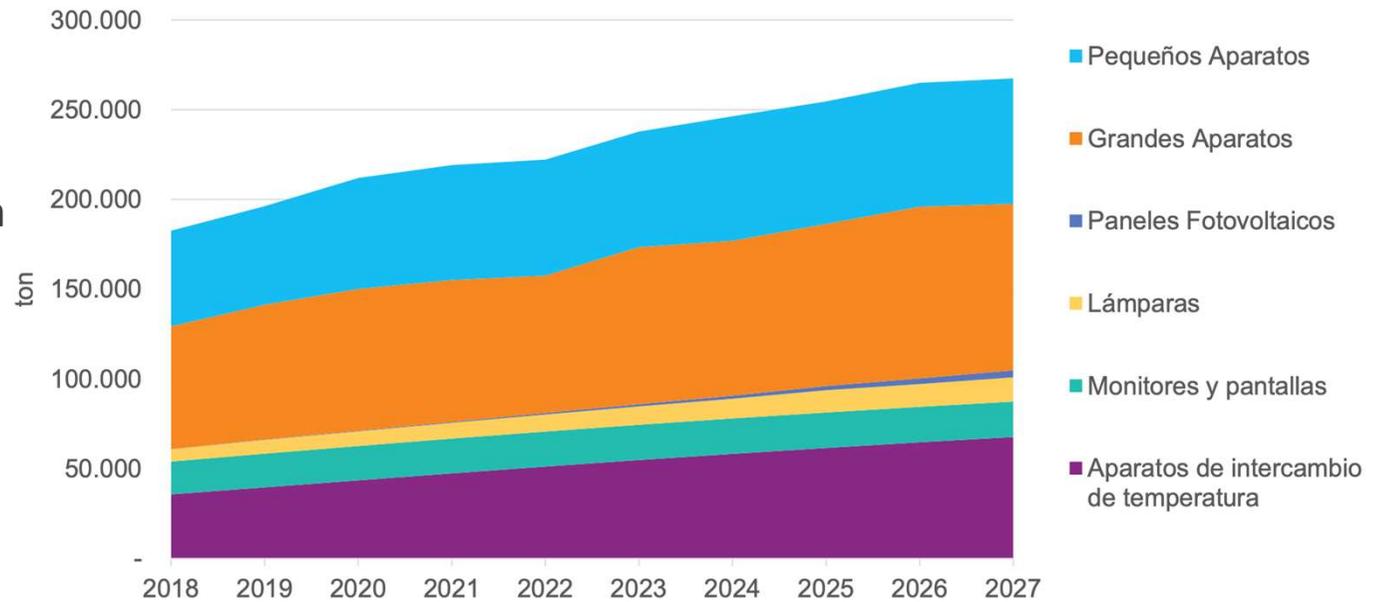


# GENERACIÓN DE E-WASTE EN CHILE

## Proyección de RAEE generados

Método de oferta de mercado/ vida útil considerando distribuciones Weibull

- 9,6 kg per cápita generados desde el 2017.
- 168.116 toneladas de e-waste.
- 3,4% de e-waste son reciclados.



<https://www.paiscircular.cl/consumo-y-produccion/chile-es-el-pais-que-mas-residuos-electronicos-genera-en-america-latina-como-lo-resolvemos/>

Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para "Aparatos Eléctricos y Electrónicos" – Fundación Chile



# CADENA DE RECICLAJE

## Estado del arte

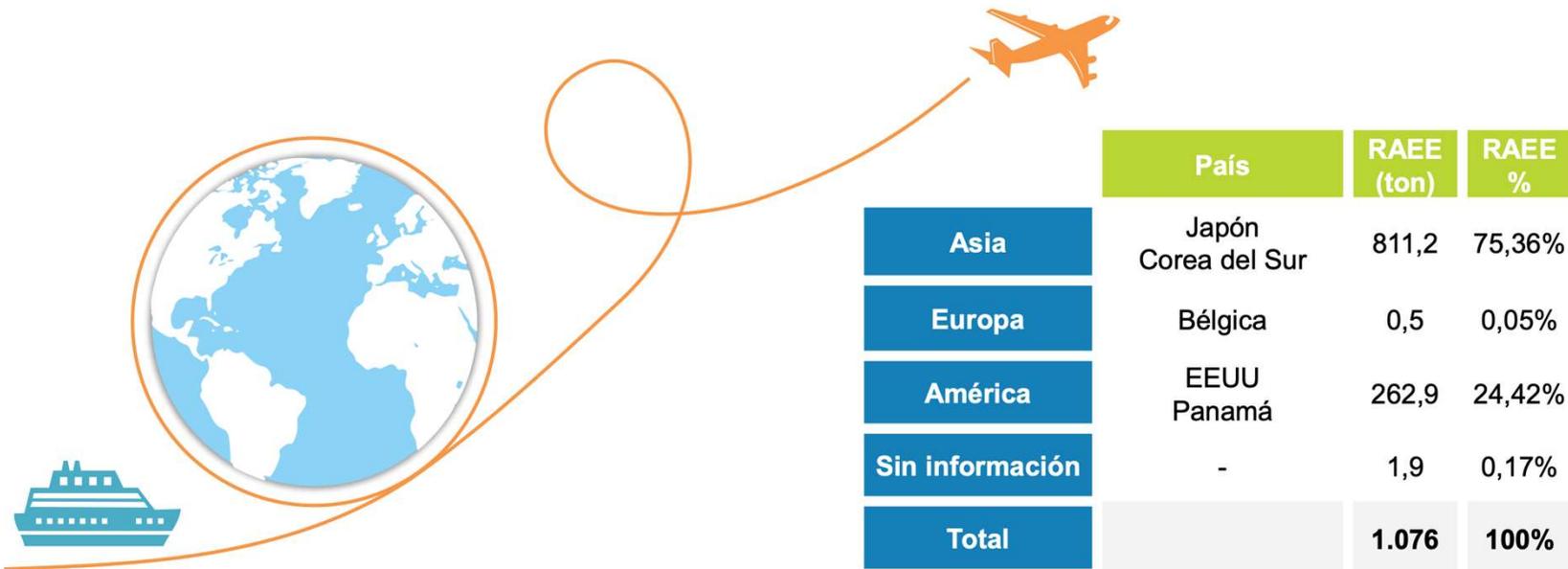
Chile está en etapas tempranas del procesamiento de residuos electrónicos





# GENERACIÓN DE E-WASTE EN CHILE

- El 80% de las exportaciones corresponden a componentes de grandes equipos informáticos



Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para "Aparatos Eléctricos y Electrónicos" – Fundación Chile



# RECICLAJE DE E-WASTE

## ¿Qué son los residuos electrónicos o e-waste?

Amplio rango de equipos eléctricos y electrónicos que son considerados obsoletos por sus usuarios.

## Desafíos del reciclaje de residuos electrónicos

- Mezcla compleja de metales, cerámicos y polímeros
- Composición varía en el tiempo
- Presencia de elementos peligrosos o potencialmente tóxicos y materiales valiosos
- Elementos presentes en bajas cantidades son difíciles de recuperar.





UNIVERSIDAD  
**ANDRÉS BELLO**

# ¿POR QUÉ RECICLAR E-WASTE?

## Recursos Materiales

- Reciclar y reusar residuos electrónicos: **valorización de residuos**;
- Potenciales altas reducciones en consumo de energía comparado con la producción primaria;
- Alta concentración de metales y solución para futura escasez de metales;

## Impacto Medioambiental

- Minimización de los problemas medioambientales relacionados a la disposición de e-waste;
- Reducción en el volumen de e-waste y de residuos secundarios producto del reciclaje que son dispuestos;
- Desarrollo de prácticas seguras para el manejo de residuos tóxicos.



**UNIVERSIDAD  
ANDRES BELLO**



Khanna R., Cayumil R., Mukherjee P.S., Sahajwalla V. (2014).  
*'A novel recycling approach for transforming waste printed circuit boards into a material resource'*  
Procedia Environmental Sciences, vol. 21, n. 0, 42-54



UNIVERSIDAD  
**ANDRÉS BELLO**

# LIMITACIONES DE LOS PROCESOS ACTUALES

---

- **Procesos hidrometalúrgicos:** subproductos secundarios – ácidos agotados, lodos y compuestos volátiles que pueden generar importantes problemas medioambientales y de salud.
- Estos procesos requieren **varias etapas y largo tiempo** para lograr la recuperación de materiales valiosos.
- **Tratamientos pirometalúrgicos:** pueden ser emitidos gases tóxicos, metales pesados y varios contaminantes si los residuos electrónicos son procesados inapropiadamente.
- La composición de los residuos electrónicos es significativamente diferente a la de los minerales, y requiere **un proceso distinto** para recuperar metales.
- Los elementos presentes en **cantidades traza son difíciles de recuperar** desde placas madre.



UNIVERSIDAD  
**ANDRES BELLO**

# RECICLAJE DE E-WASTE

El objetivo de este estudio es investigar la recuperación de aleaciones en base a cobre, metales preciosos y materiales ricos en carbón durante el reciclaje de placas madre a través de pirólisis de alta temperatura.



Carbon

Cobre



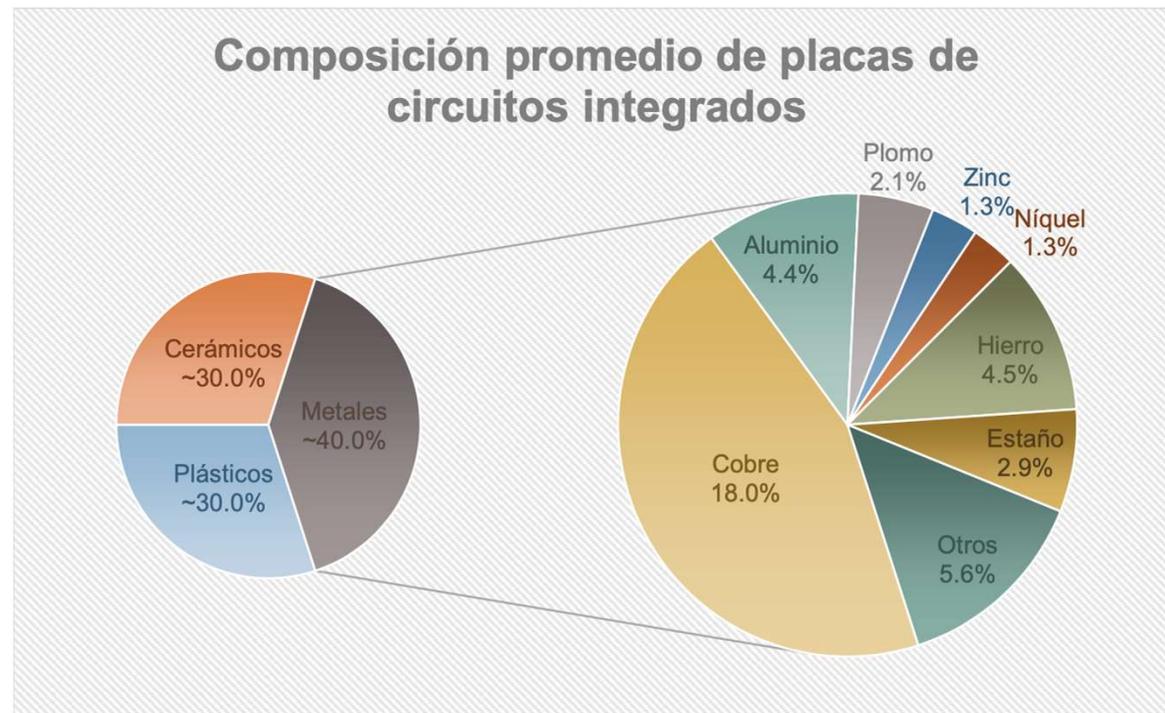
Oro



Platino



# COMPOSICIÓN PCBs



Composición promedio de PCBs (Muñoz, 2019).



UNIVERSIDAD  
ANDRÉS BELLO

# DESARROLLO DE UN NUEVO PROCESO

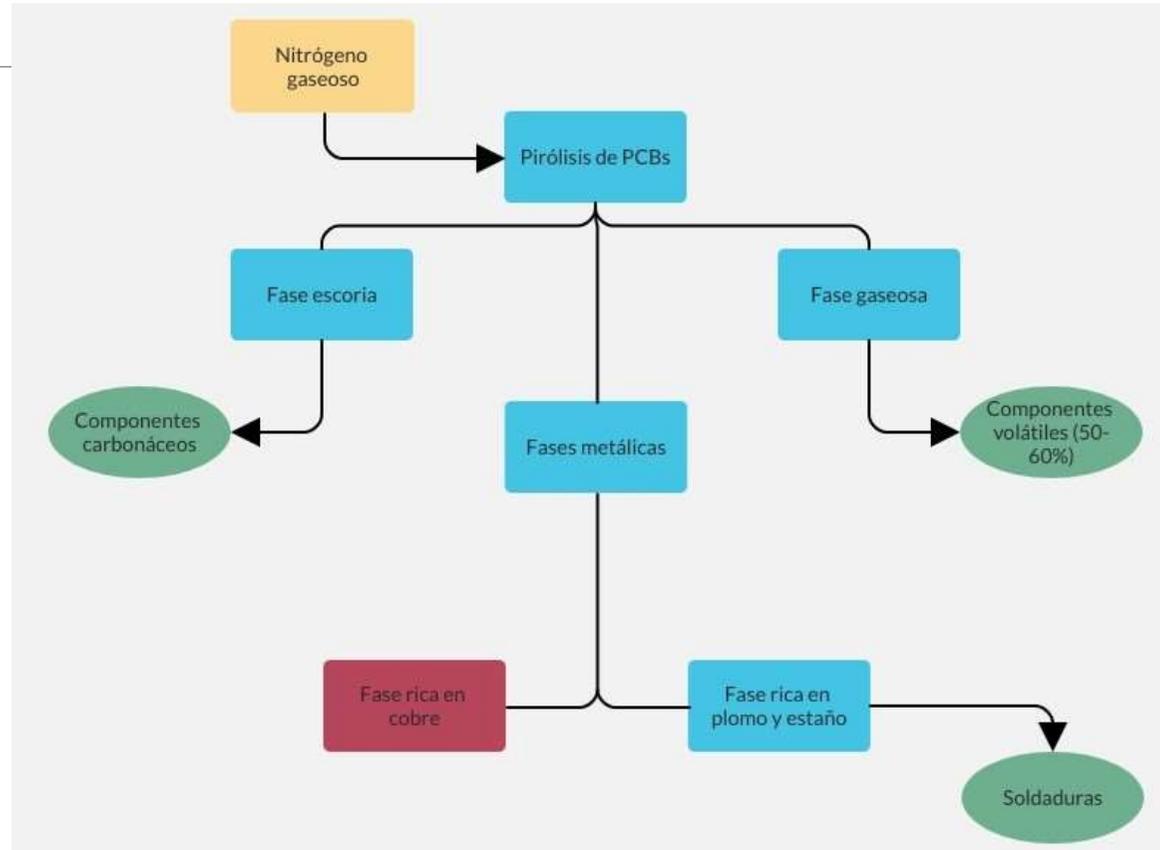


Diagrama de flujos de pirólisis de PCBs



# DESARROLLO DE UN NUEVO PROCESO

Pirólisis de alta temperatura



Fase carbonácea/escoria



Fracción metálica rica en cobre



Fracción metálica rica en estaño y plomo



# MINERÍA URBANA EN CHILE

---

- Empresas locales realizan recolección, desmantelamiento y separación de componentes valiosos, que luego son exportados.
- Materiales poliméricos son reciclados localmente. Sin embargo, productos metálicos son recuperados en el extranjero.
- La mayoría de las empresas locales envía material valioso como los circuitos electrónicos a países como Bélgica o Japón, en donde se recuperan los metales.



**UNIVERSIDAD  
ANDRÉS BELLO**

# INICIATIVAS DE MINERÍA URBANA

---

- **Proyecto CORFO:** Validación del proceso de circuitos electrónicos en colaboración entre la Fundación Chilenter y Universidad Andrés Bello.
- **Proyecto CORFO:** Investigación de recuperación de Indio desde pantallas LED/LCDs, en colaboración entre Pañiwe Sustentable y Universidad Andrés Bello
- **Proyecto CORFO:** Investigación de pretratamiento de Paneles Solares, en colaboración entre Pañiwe Sustentable y Universidad Andrés Bello.
- Investigación de refinación de productos del proceso de circuitos electrónicos – Universidad Andrés Bello



**UNIVERSIDAD  
ANDRÉS BELLO**

# INICIATIVAS DE MINERÍA URBANA

---

- **Metas**
  - ✓ Procesar residuos electrónicos de manera local
  - ✓ Recuperar materiales valiosos
  - ✓ Minimizar contaminación asociada con tratamiento y disposición



**UNIVERSIDAD  
ANDRÉS BELLO**

# ECONOMÍA CIRCULAR

## UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

---

- ✓ Tesis pregrado
- ✓ Proyectos
- ✓ Programas de carreras
- ✓ Diplomado Economía Circular



UNIVERSIDAD  
**ANDRÉS BELLO**

# DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA CHILE

- El **manejo de residuos** en Chile aún está en etapas tempranas.
- En Chile actualmente se realiza **recolección y desmantelamiento de residuos electrónicos**; la mayor parte del material valioso recolectado es vendido y exportado al extranjero, donde generalmente el cobre y metales preciosos son recuperados.
- La industria minera del cobre tiene la **capacidad de fundición más grande de Latino América**, donde procesos de reciclaje pueden eventualmente ser implementados.
- El conocimiento **metalúrgico** – históricamente asociado con la industria minera – se puede ocupar en el **manejo de residuos y reciclaje**.



UNIVERSIDAD  
**ANDRÉS BELLO**

# DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA CHILE

- Oportunidad de ser **líderes en la región** en el procesamiento de e-waste.
- Al implementar este nuevo enfoque se proveerá una solución a la futura escasez de recursos minerales, así como también el **desarrollo de prácticas seguras para el manejo de e-waste**, considerado uno de los problemas medioambientales más críticos de las últimas décadas.
- Desafíos: educación, infraestructura, inversión, I&D.

# Gracias por su atención

---



Romina Cayumil, PhD



[romina.cayumil@unab.cl](mailto:romina.cayumil@unab.cl)



[linkedin.com/in/rcayumil/](https://www.linkedin.com/in/rcayumil/)



**IMetChile**

**Muchas Gracias**

*Auspiciado por:*

**PAMPA NORTE | BHP**



Educación  
Continua

*Patrocinado por:*

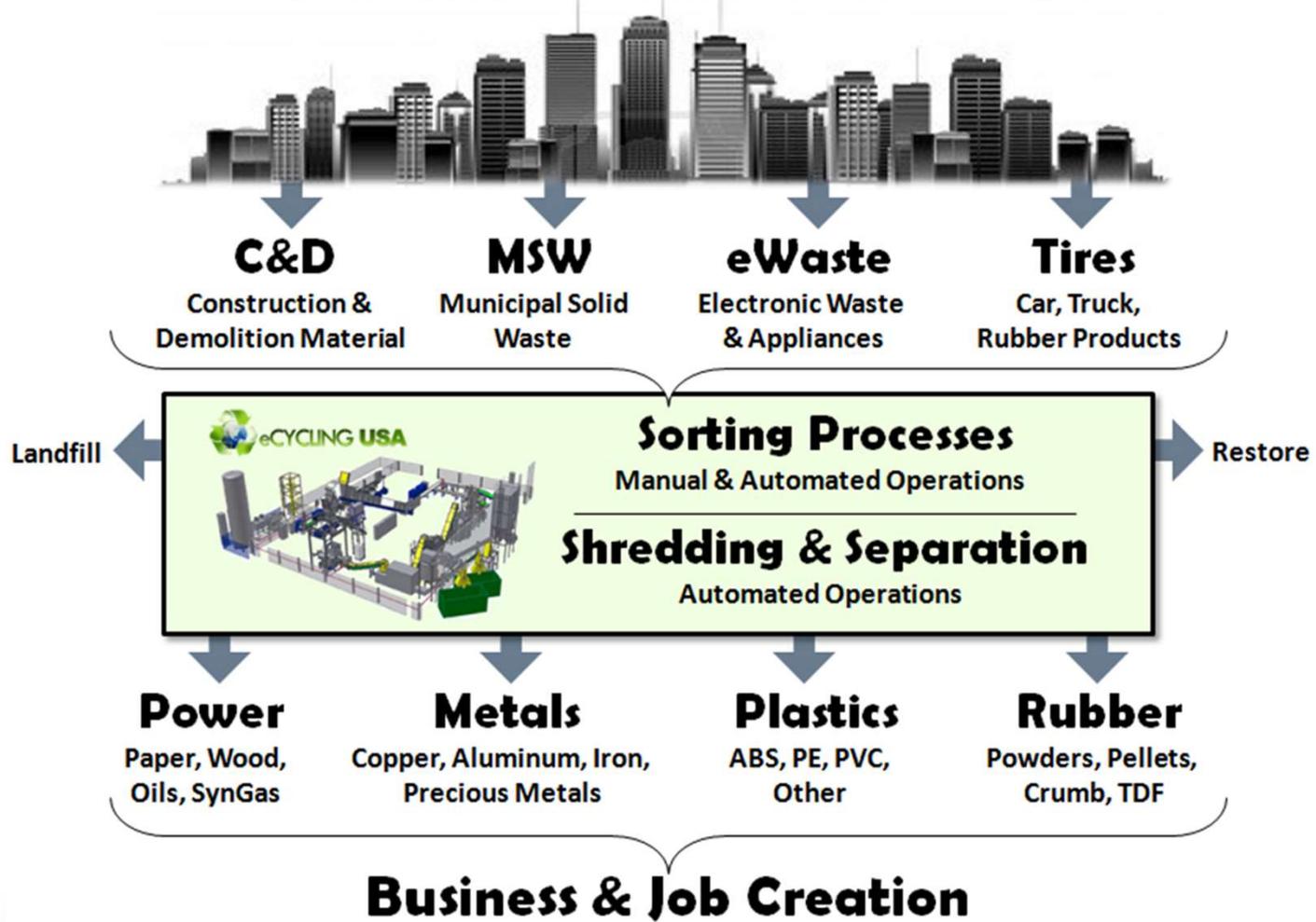


**Universidad de Concepción**



# MINERÍA URBANA

**Goal: Monetize Urban Waste Streams**





**UNIVERSIDAD  
ANDRÉS BELLO**

# DESARROLLO DE UN NUEVO PROCESO

Fracción metálica rica en  
cobre





**UNIVERSIDAD  
ANDRÉS BELLO**

# DESARROLLO DE UN NUEVO PROCESO

Fase carbonácea/escoria





UNIVERSIDAD  
**ANDRÉS BELLO**

# DESARROLLO DE UN NUEVO PROCESO

Fracción metálica rica en  
estaño y plomo





# MANEJO DE RESIDUOS EN CHILE

Ley de fomento al reciclaje: Manejo de **lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, baterías, envases & embalajes, y neumáticos** durante su proceso de manufactura, comercialización, y al final de su vida útil, fomentando su uso como recurso.



Creación de la **Oficina de Economía Circular** en el Ministerio de Medio Ambiente es el resultado de las acciones adoptadas en minimización de generación de residuos, manejo, valorización y reciclaje.

Campaña plásticos de un sólo uso.



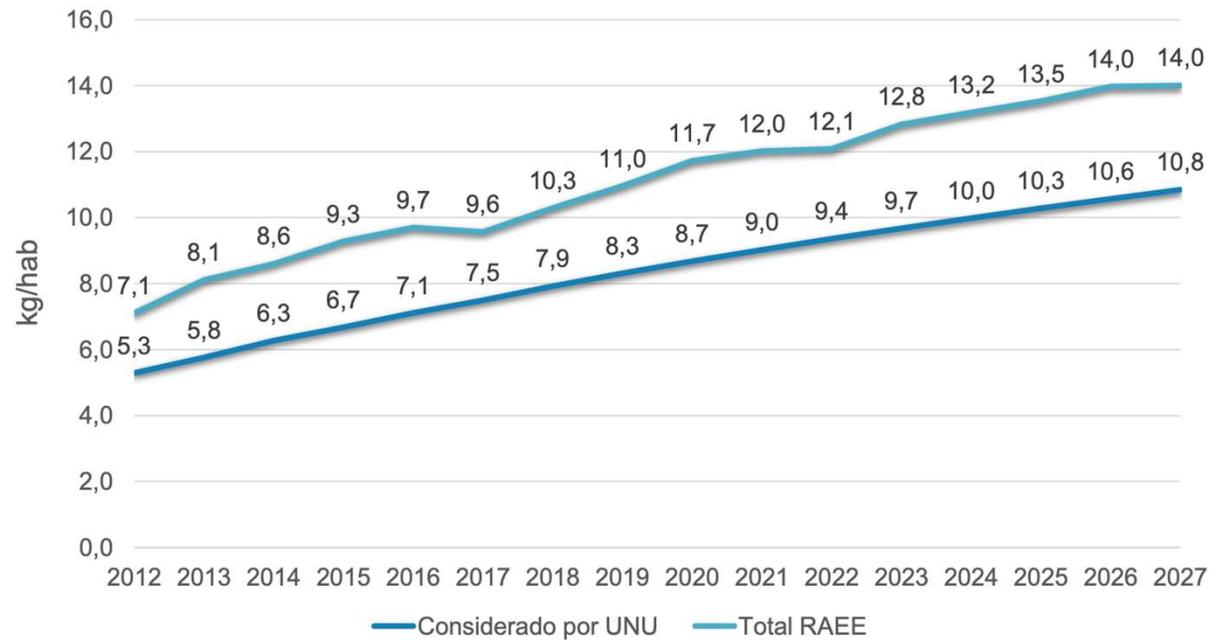
**UNIVERSIDAD  
ANDRÉS BELLO**





UNIVERSIDAD  
ANDRÉS BELLO

# GENERACIÓN DE E-WASTE EN CHILE



Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para "Aparatos Eléctricos y Electrónicos" – Fundación Chile



# ANTECEDENTES

El boom de la industria electrónica ha impactado el medio ambiente en dos formas:

- **Grandes volúmenes de residuos electrónicos** están siendo dispuestos inapropiadamente o eliminados como residuos domésticos. 53,6 millones de toneladas de residuos electrónicos fueron generados mundialmente en 2019<sup>[1]</sup>. Se estima un incremento de entre 3% y 5% cada año.
- Creciente demanda de **metales raros y preciosos** desde recursos primarios<sup>[2]</sup>.

## ¿Qué son los residuos electrónicos o e-waste?

Amplio rango de equipos eléctricos y electrónicos que son considerados obsoletos por sus usuarios.

[1] Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam.

[2] Veit H., Bernardes A. (2015). 'Electronic waste - Recycling techniques' Topics in mining, metallurgy and materials engineering, Springer, Switzerland



# ANTECEDENTES

- Existen **problemas medioambientales asociados** con la disposición de residuos electrónicos, tales como la liberación de compuestos tóxicos y peligrosos, y contaminación de aguas, suelos y aire.
- Operaciones en **sectores informales** extraen materiales desde residuos electrónicos de forma inapropiada, usando métodos tales como quema a cielo abierto, disposición ilegal de basura, disolución en ácidos, etc.