

Material didáctico de apoyo para docentes en  
Arquitectura o Ingeniería Civil

# Capítulo 11

## Sostenibilidad del Acero Inoxidable

# Definiciones

- **Greenhouse Gas (GHG):** Toneladas emitidas de CO<sub>2</sub>-eq /Tonelada de acero <sup>(1)</sup>
- **Global Warming Potential (GWP):** Sin unidades. Ratio de las habilidades de diferentes gases de efecto invernadero (GHG) de atrapar calor en la atmosfera en relación a la del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) <sup>(7)</sup>. Por ejemplo, el GWP (*Global warming potential*/Potencial de calentamiento global) del metano es 28 durante un periodo de 100 años.
- **El potencial de calentamiento global (GWP) del consumo de energía primaria (GJ/T)** también se denomina Intensidad energética Es la energía consumida para producir 1 tonelada de un material primario (por ejemplo el acero) <sup>(1)</sup>.
- **Gross Energy Requirement (GER):** Es la cantidad total de energía requerida para un producto. <sup>(8)</sup>
- **Eficiencia del un material:** Mide la cantidad de material no destinado a vertedero o incineración, en relación a la cantidad de acero producido. <sup>(1)</sup>

# Definiciones

- **Life Cycle Inventory (LCI):** Se trata de un método estructurado, comprensible e internacionalmente regulado. Cuantifica todas las emisiones relevantes y recursos consumidos así como los impactos relacionados con el medio ambiente, la salud y el agotamiento de recursos asociados con el ciclo de vida global de un producto. <sup>(3)</sup>
- **Life Cycle Cost (LCC):** Es una herramienta para evaluar el coste total del desempeño de un bien a lo largo del tiempo, incluyendo la adquisición, operación, mantenimiento y costes de vertedero. <sup>(4)</sup>
- **Life Cycle Assessment (LCA):** Es una herramienta de ayuda para cuantificar y evaluar las cargas e impactos medioambientales asociados al producto o a sus actividades, desde la extracción de las materias primas hasta su deposición en vertedero. Se está incrementando su uso entre por parte de empresas, gobiernos y grupos ecologistas para la toma de decisiones y estrategias medioambientales sobre una correcta selección de materiales.

# Definiciones

## Indicadores de Seguridad:

- **Tiempo perdido por accidentes:** Este ratio representa el número de horas de trabajo perdidas como consecuencia de accidentes por cada 1,000,000 de horas trabajadas. <sup>(1)</sup>

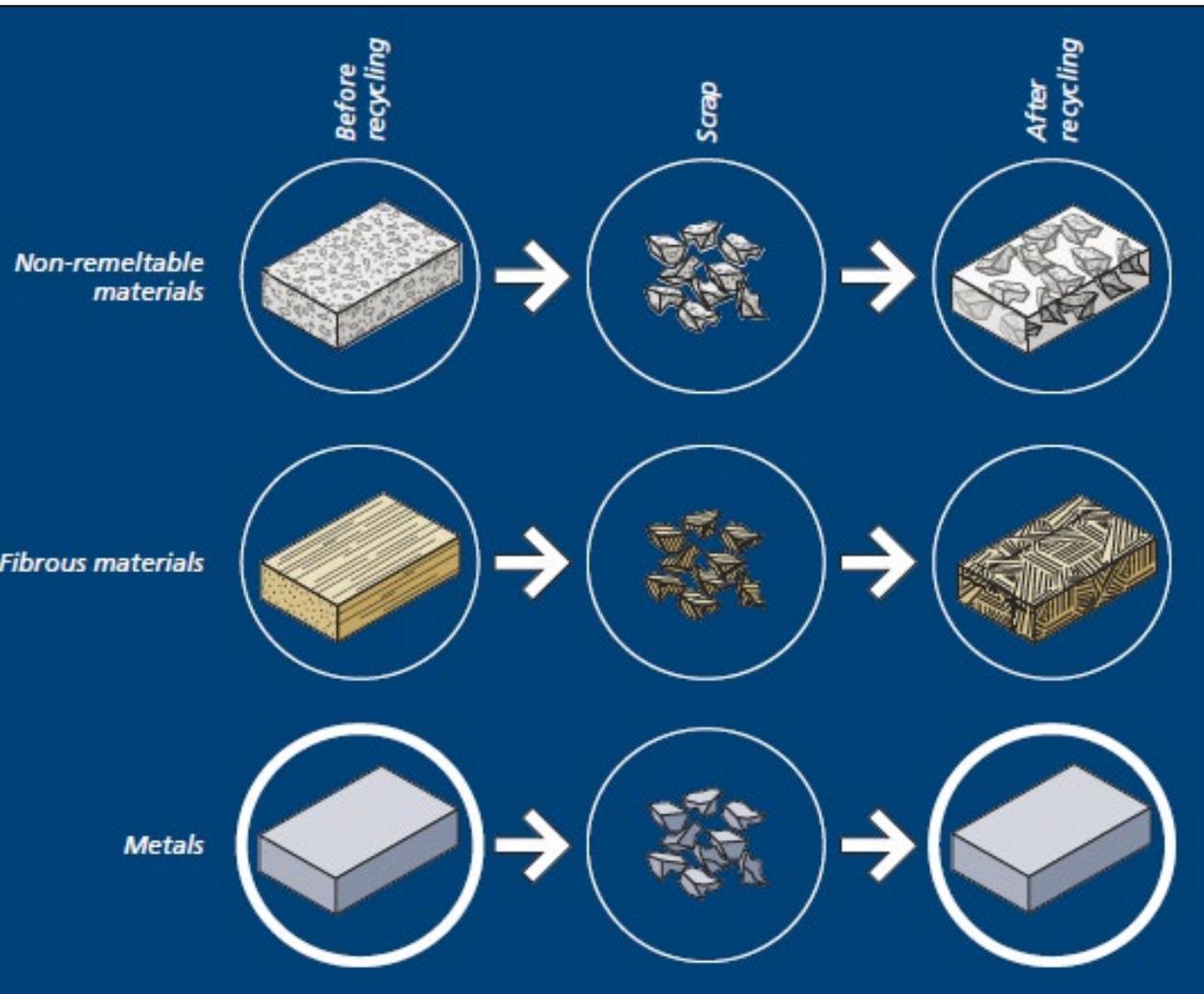
## Indicadores de reciclaje:

- **Ratio de reciclaje** Indica cuanta cantidad de material entra en la cadena de reciclaje al final de la vida del mismo.(como contrapartida a la cantidad de material enviada a vertedero). <sup>(5)</sup>
- **Contenido de reciclaje** se define como la proporción en peso de material reciclado contenido en un producto. <sup>(6)</sup>
- **Solid Waste Burden (SWB):** incluye residuos mineros, balsas, escorias y cenizas de centrales termicas

# Comentarios sobre los indicadores:

**NUEVO!**

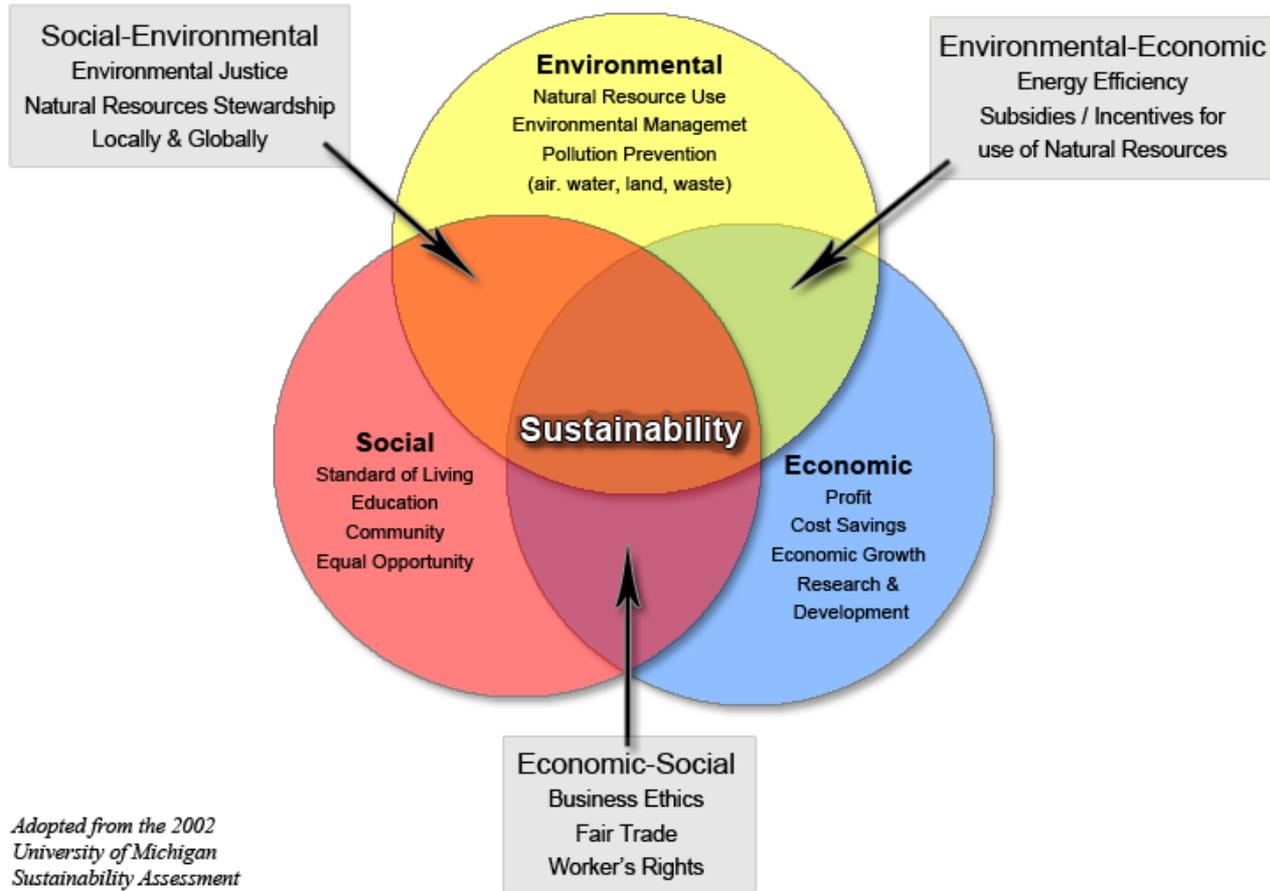
Los indicadores de reciclabilidad no tienen en cuenta el «downcycling».



Los metales pueden ser reciclados sin merma alguna en su calidad..

La razón se debe a que los granos metálicos son totalmente restablecidos durante la resolidificación, recuperando sus propiedades originales aunque sean sometidos al proceso de reciclaje muchas veces. Esto les permite ser usados una y otra vez para la misma aplicación. Por el contrario, las características de los metales no metálicos empeoran tras el reciclaje. <sup>(45)</sup>





## Sostenibilidad

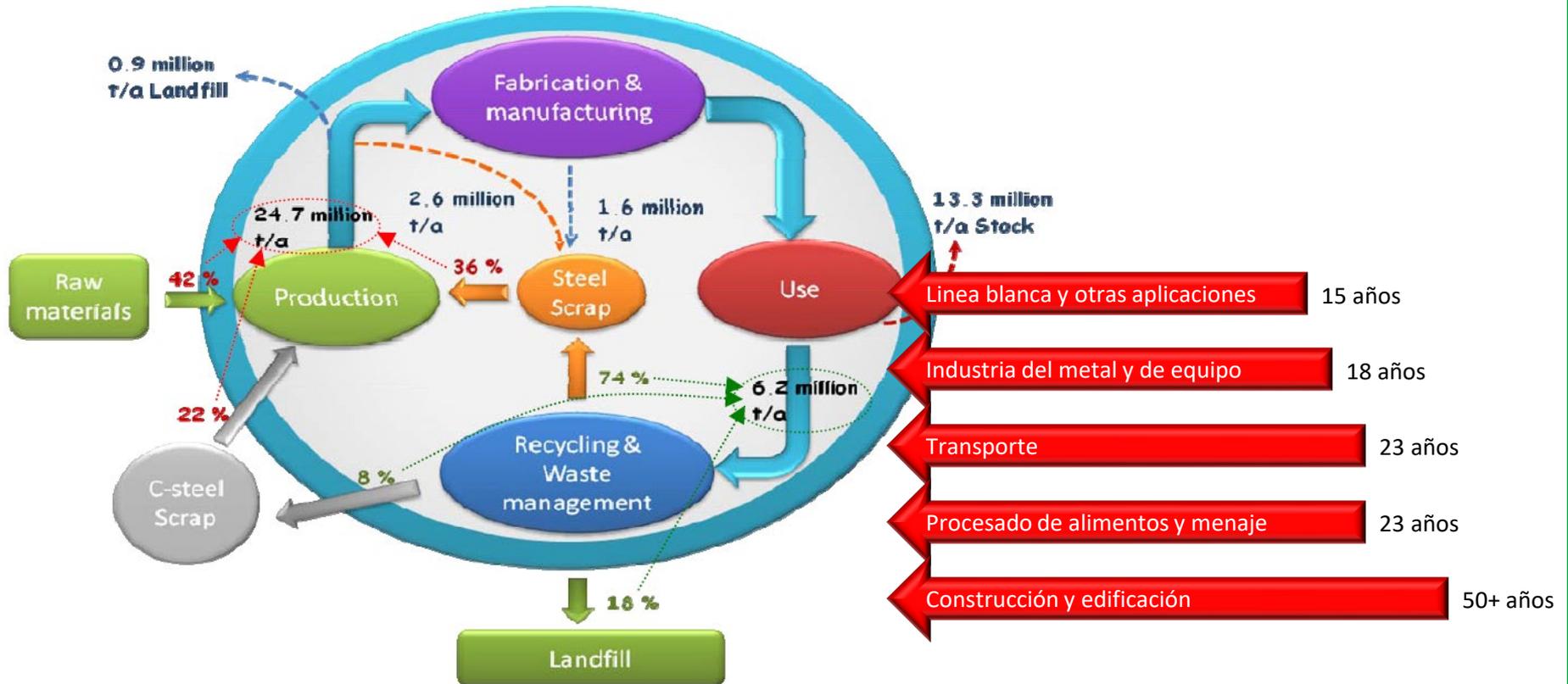
“La sostenibilidad engloba todo el ciclo de fabricación de un producto, desde la adquisición de las materias primas, hasta la fase de demolición y recogida de residuos, pasando por la planificación, diseño, construcción y operación.” (Rossi, B. 2012) <sup>9</sup>

# Sostenibilidad del acero inoxidable:

1. Medio ambiente
2. Social
3. Económico

# 1. Medio ambiente

## Producción ⇌ Uso ⇌ Reciclaje

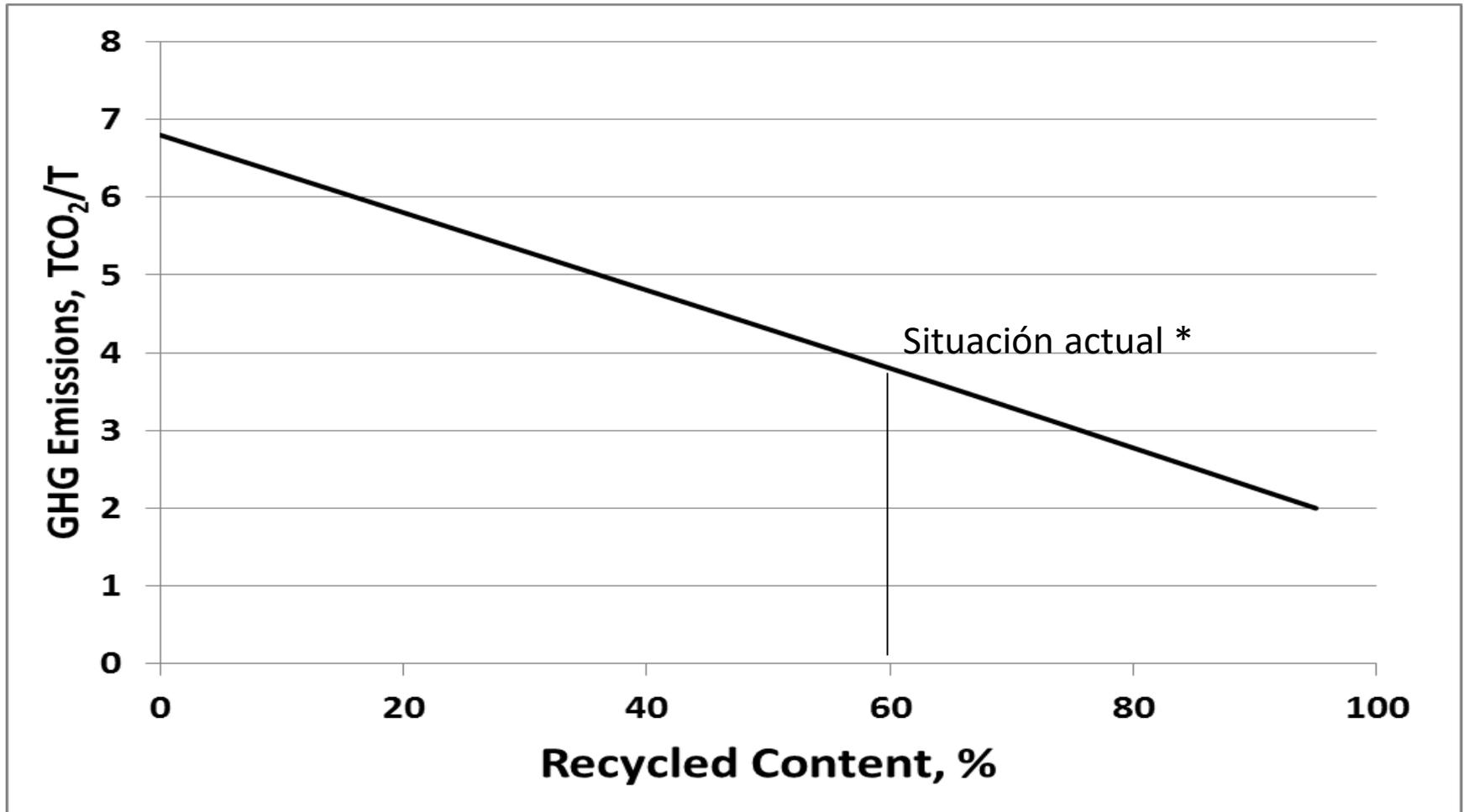


# Más sobre el Uso y Reciclado<sup>15</sup>

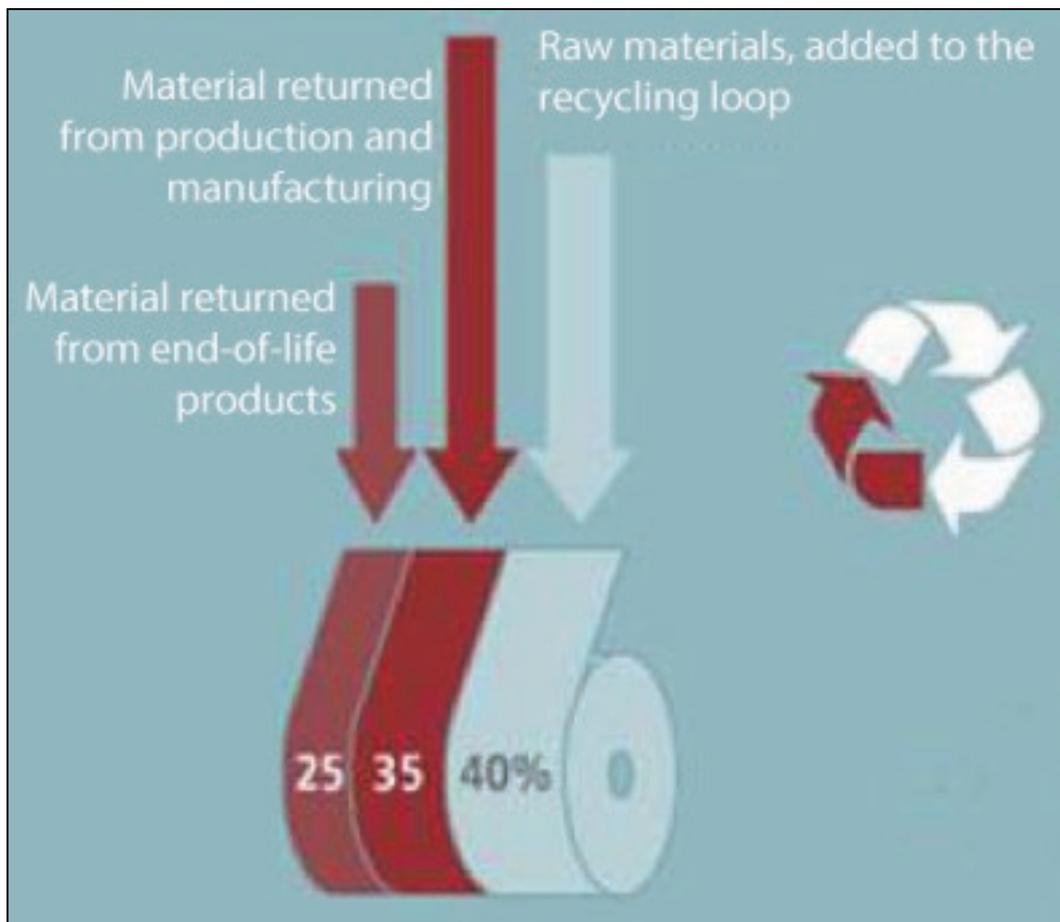
**iActualizado en 2015!**

Sector de uso final	Vida útil media (años)	A vertedero	Recogido para su reciclado		
			Total	Como acero inoxidable	Como acero al carbono
Edificación e infraestructuras	50	8%	92%	95%	5%
Transporte (turismos)	14	13%	87%	85%	15%
Transporte (otros)	30				
Maquinaria industrial	25	8%	92%	95%	5%
Aparatos domésticos y electrónicos	15	30%	70%	95%	5%
Artículos metálicos	15	40%	60%	80%	20%

# Emisiones de GHG vs. Cantidad Reciclada <sup>11, 12, 13, 14</sup>



\* La cantidad reciclada está limitada por la disponibilidad de chatarra

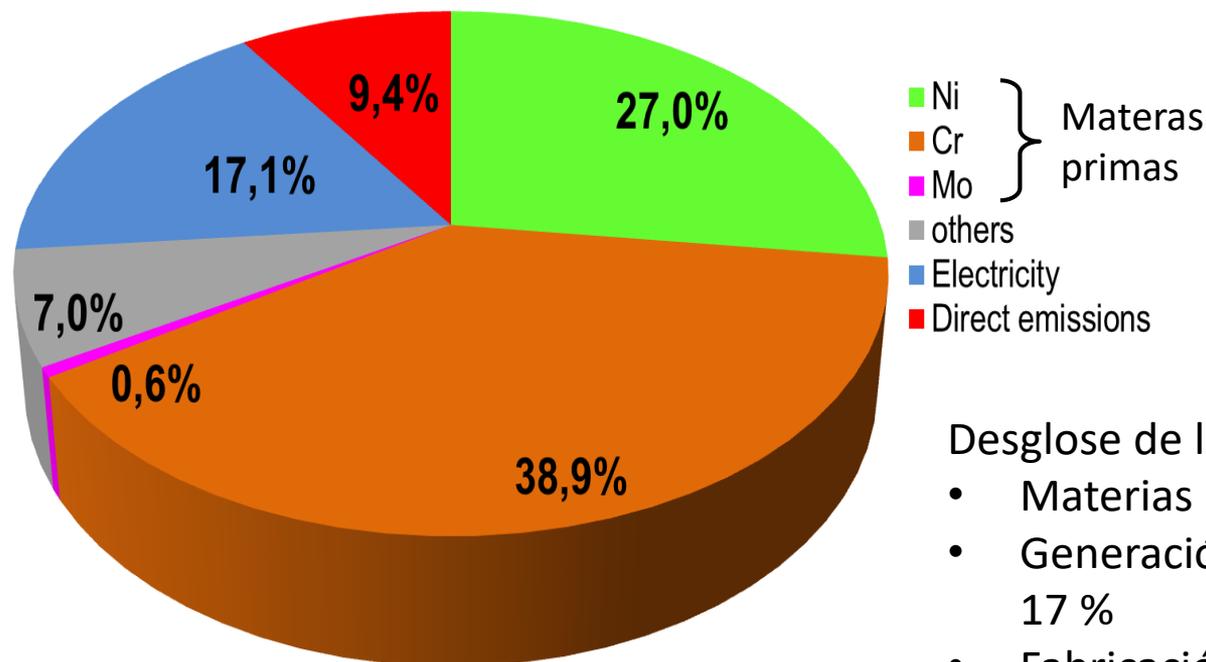


**Cantidad de material reciclado en el acero inoxidable**

# Emisiones de gases de efecto invernadero en los aceros inoxidables <sup>(15)</sup>

Actualizado!

3.81 ton CO<sub>2</sub>/ ton Acero inoxidable <sup>(16)</sup>

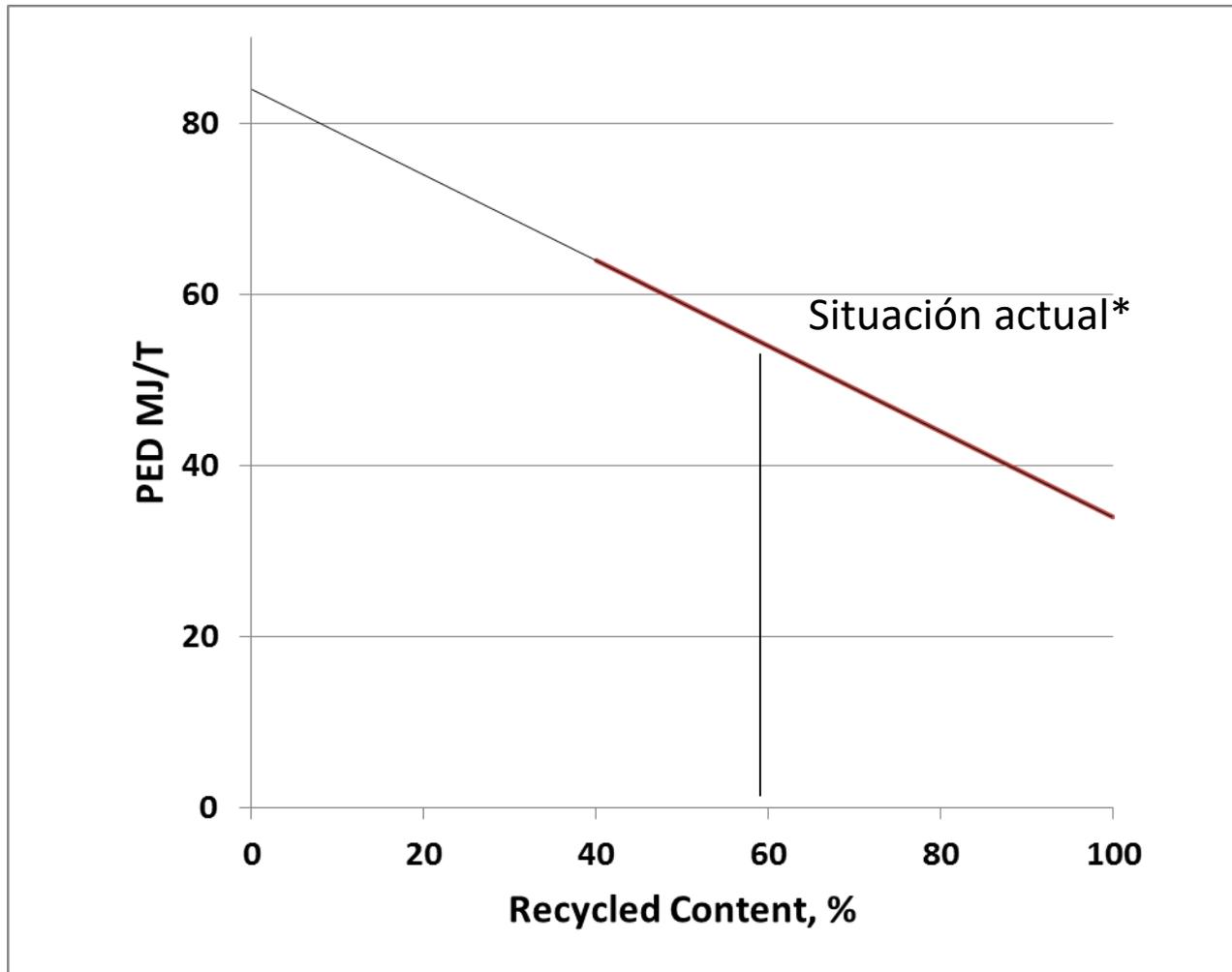


Desglose de las emisiones:

- Materias primas: 70 %
- Generación de electricidad: 17 %
- Fabricación del acero: 9% <sup>(17)</sup>

Nota: No se ha tenido en cuenta el Niquel producido via Nickel pig iron, para la cual se estima un valor tres veces superior al indicado para el Niquel en el gráfico. China es actualmente el único país que emplea el Nickel Pig iron

# Energía primaria requerida <sup>18</sup>



\* La cantidad de material reciclado está limitada por la disponibilidad de chatarra.

# Impactos medioambientales para la producción de metales “cradle-to-gate”<sup>19</sup>

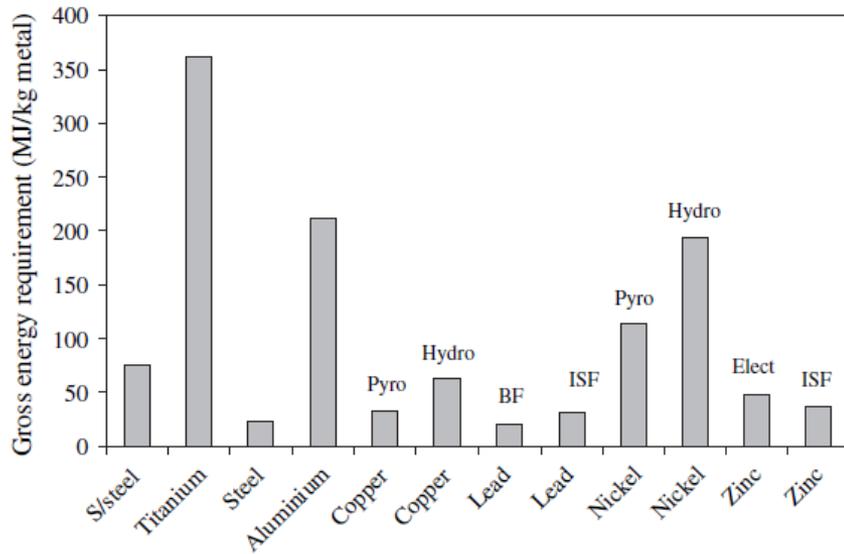
Metal	Proceso	GER (MJ/kg)	GWP (kg CO <sub>2e</sub> /kg)	AP (kg SO <sub>2e</sub> /kg)	SWB (kg/kg)
Acero Inoxidable	Horno Arco eléctrico+ AOD	75	6.8	0.051	6.4
Acero	Ruta integrada (BF y BOF)	23	2.3	0.020	2.4
Aluminio	Proceso Bayer y Proceso Hall- Heroult	361	35.7	0.230	16.9
Cobre	Fundición/convertidor y electrorefino	33	3.3	0.040	64
	Pila de lixiviados y SX/EW	64	6.2	-	125

GER: Gross Energy Requirement  
 Potential AP: Acidification Potential

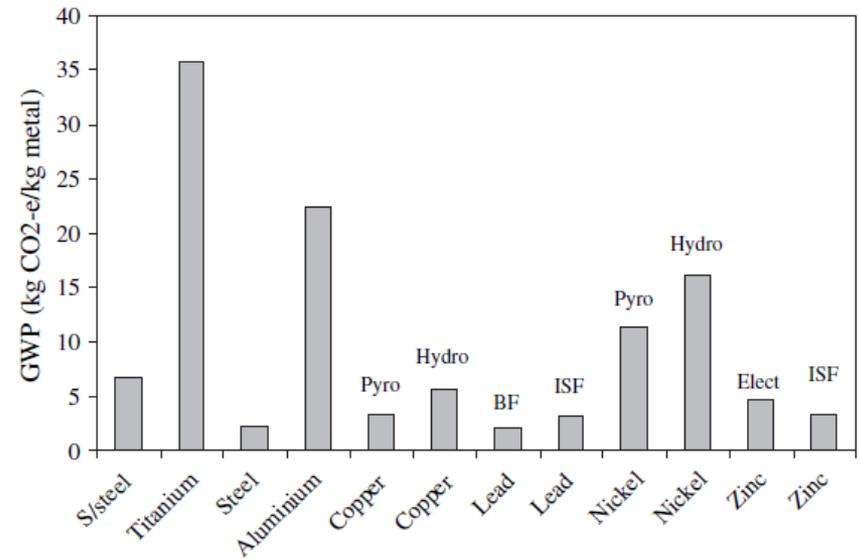
GWP: Global Warming  
 SWB: Solid Waste Burden

# Impactos medioambientales para la producción de metales “cradle-to-gate”<sup>20</sup>

Gross Energy Requirement para la producción “cradle-to-gate” de varios metales



Global Warming Potential para la producción “cradle-to-gate” de varios metales



(sin considerar reciclaje)

# Los materiales no se emplean en la misma cantidad para un mismo servicio o función <sup>21</sup>

Ejemplo:

Potencial impacto ambiental para 3 diferentes tipos de fachadas.

Material	PED (MJ/m <sup>2</sup> )	GWP (Kg CO <sub>2</sub> -eq./m <sup>2</sup> )	Fin de vida (EOL)
Laminados a alta presión Trespa®	759.3	23.9	50% reciclado + 50% vertedero
Generic stucco	144.2	12.7	No se recicla
Acero inoxidable 0.5mm	140.5	7.2	RR = 95%
Acero inoxidable 0.8 mm	191.7	11.3	RR = 95%

# Eficiencia de los materiales



## **Reducir:**

La cantidad de materias primas necesarias para producir acero inoxidable (40%), tiene como consecuencia un descenso en las emisiones de CO<sub>2</sub> .

## **Reutilizar:**

La durabilidad del acero inoxidable hace que la reutilización sea muy importante.

Ejemplos: Botellas, tazas, copas, straws...





## Ejemplo: Reutilización <sup>22</sup>

Los paneles de acero inoxidable estaban sucios y con rayas después de 50 años de servicio. Durante la renovación del espacio los paneles fueron retirados, limpiados, acondicionados y reinstalados.

# Eficiencia de los materiales



## **Reciclado:**

El acero inoxidable es reciclable 100%, toda la chatarra recolectada (82%) se reutiliza.

Mínimos residuos en la producción ⇒ La escoria y los polvos son los principales residuos resultantes del proceso de acería. Ejemplo: En algunos países, la escoria puede emplearse en el asfalto para la construcción de carreteras.

# El acero inoxidable se recicla en gran parte al final de la vida útil de los productos<sup>23-25</sup>

Principales sectores de aplicación	Empleo de acero inoxidable acabado en fabricación	Vida media (en años)	A vertedero	Recogido para su reciclado	
				Total	Como acero inoxidable
Edificación	16%	50	8%	92%	95%
Transporte	21%	14	13%	87%	85%
Maquinaria industrial	31%	25	8%	92%	95%
Aparatos domésticos	6%	15	18%	82%	95%
Electrónica	6%	-	40%	60%	95%
Artículos metálicos	20%	15	40%	60%	80%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>18%</b>	<b>82%</b>	<b>90%</b>

La recogida de chatarra y clasificación de residuos progresa continuamente gracias a la mejora de procesos y la fluorescencia por rayos X

El diseño arquitectónico puede tener un impacto en la tasa de recolección

# Datos LEED\* y LCI para el Acero Inoxidable

- El Consejo Regulador del *U.S. Green Building Council* publicó la 4ª versión del “\*Leadership in Energy and Environmental Design” (LEED v4) en 2013
  - La nueva versión incluye cambios que son favorables para el acero inoxidable:
    - Mayor énfasis en la vida útil
    - Requisitos más estrictos en emisiones VOC\* (problema para algunos materiales como los plásticos)
- La Administración *U.S. General Services* (que gestiona edificios y propiedades gubernamentales) recientemente ha avalado el uso de LEED
  - Gobiernos estatales y locales exigen cada vez más certificados LEED o similares para edificios nuevos o modificaciones

\*\* VOC: Volatile Organic Compounds (Componentes Orgánicos Volátiles): para el Acero Inoxidable, ocurren muy pocas emisiones durante los procesos de fabricación (no hay datos aún) y ninguna durante su uso



## Edificios sostenibles con Acero Inoxidable – Centro de Convenciones David L. Lawrence, Pittsburgh (2003) <sup>26</sup>

Cubierta de acero inoxidable:

- Acero inoxidable S30400
- Medidas: 280 × 96m
- Cubierta de 23,000m<sup>2</sup> de 0.6mm (24-gauge), peso aproximado de 136 toneladas.

# Edificio sostenible con Acero Inoxidable: la calificación Gold LEED

La calificación Gold **LEED/LDEM** (Leadership in Energy and Environment Design/Liderazgo en Diseño Energético y Medioambiental) reconoce:

- rediseño de zonas baldías cercanas al edificio
- adaptación a modos alternativos de transporte
- uso reducido de agua
- rendimiento energético eficiente
- uso de materiales que emiten ningún o muy bajo nivel de toxinas
- diseño innovador



## **Trabajos sostenibles de obra civil empleando inoxidable** **El embarcadero de Progreso <sup>27</sup>**

En Progreso, México, se construyó un embarcadero en 1970. El ambiente marino hizo que la barra de acero al carbono se corroyera, con el consecuente fallo de la estructura.



## **Trabajos sostenibles de obra civil empleando inoxidable** **El embarcadero de Progresso**

El embarcadero adyacente fue construido entre 1937 y 1941 empleando refuerzo de acero inoxidable para el hormigón.



## **Trabajos sostenibles de obra civil empleando inoxidable** **El embarcadero de Progresso**

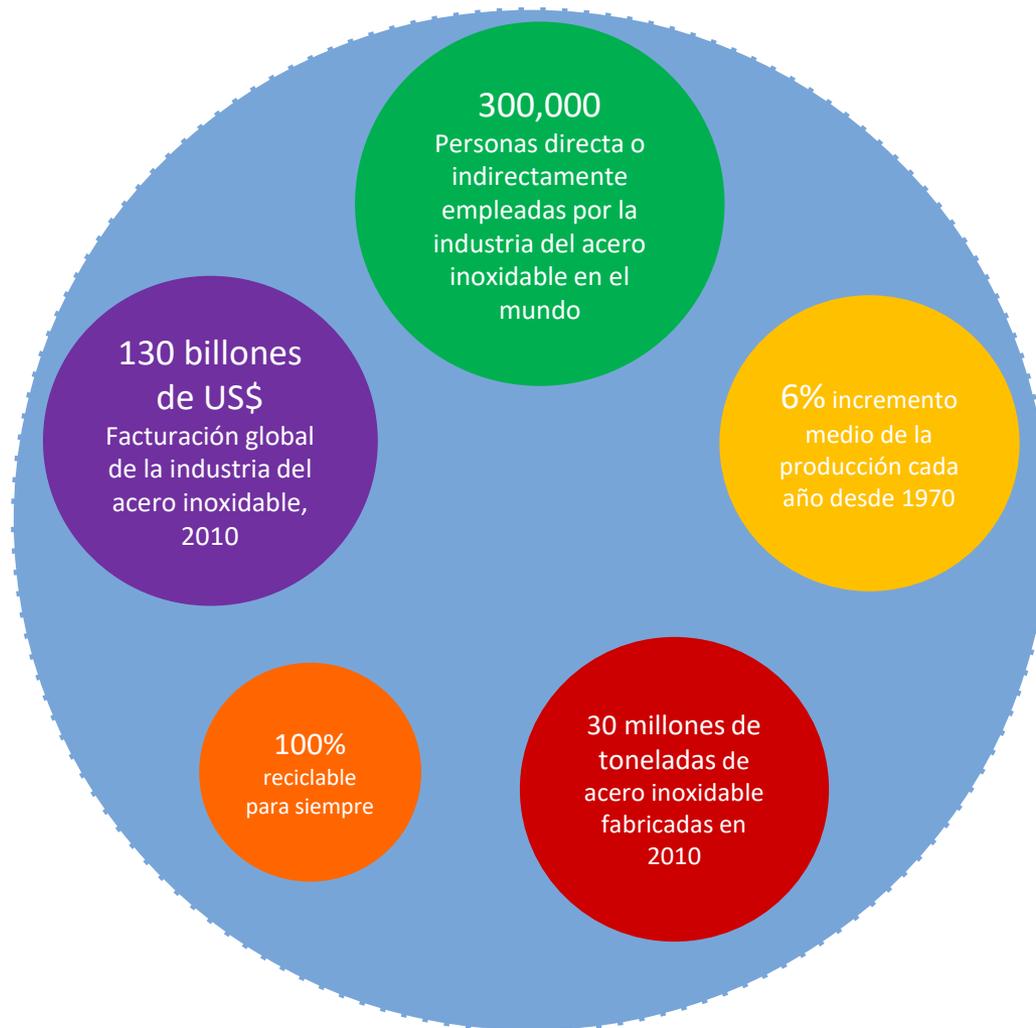
Desde entonces, no ha recibido mantenimiento y se ha conservado en condiciones excelentes.

## 2. Social

Un material sostenible no provoca daños en las personas que trabajan en su producción, ni al manipularlo durante su uso, reciclaje y disposición final.

- El acero inoxidable no resulta dañino para la gente durante su producción ni durante su uso. Por esta razón, el acero inoxidable es el principal material empleado en aplicaciones médicas, alimenticias, de elaboración, domésticas y de hostelería.
- Proporcionar un lugar de trabajo saludable y libre de accidentes es la máxima prioridad para la industria del acero inoxidable.
- El acero inoxidable mejora también la calidad de vida haciendo posibles ciertos avances técnicos. Por ejemplo, las instalaciones que nos proporcionan agua potable limpia, comida y medicamentos no resultarían tan higiénicas ni eficientes de no ser por el acero inoxidable.

# 3. Económico



# Coste de Ciclo de Vida (CCV) <sup>30</sup>

- El CCV es el coste de un bien a lo largo de todo su ciclo de vida, mientras cumpla los requisitos de funcionamiento (ISO 15686-5).
- El CCV es la suma de todos los costes relacionados a un producto durante su ciclo de vida:

**concepción** ⇒ **fabricación** ⇒ **operación** ⇒ **final de vida**



*Fuente: Metodología para determinar el coste de ciclo de vida. Comisión Europea*

# Coste de Ciclo de Vida (CCV)

El CCV es un procedimiento matemático que facilita la toma de decisiones de inversión y/o la comparación de diferentes opciones de inversión.

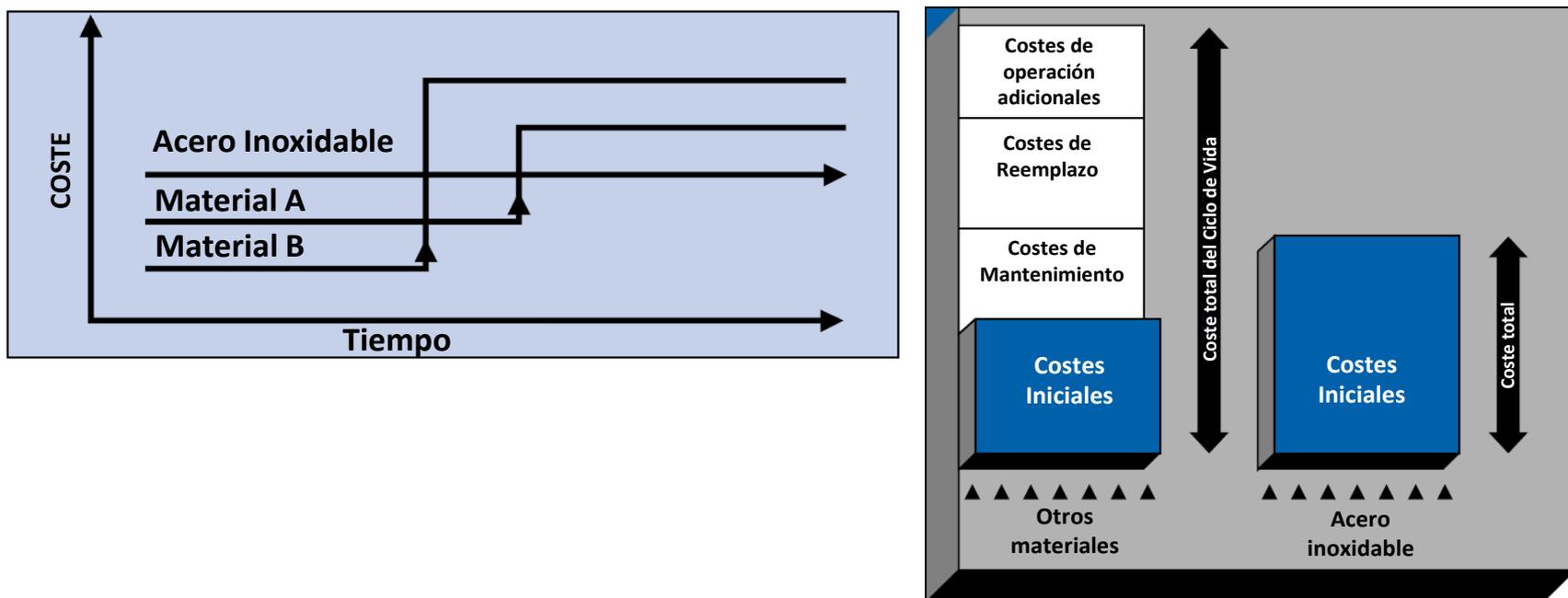
Todos los Costes a Valor Actualizado Antes de su Acumulación:

Coste Ciclo de Vida total (CCV)	Coste inicial de adquisición de material (AC)	Costes de instalación de materiales y fabricación (IC)	Costes de operación y mantenimiento (IC)	Costes de pérdida de producción durante tiempo de parada (LP)	Coste de materiales de sustitución (RC)					
LCC	=	AC	+	IC	+	$\sum_{n=1}^N \frac{OC}{(1+i)^n}$	+	$\sum_{n=1}^N \frac{LP}{(1+i)^n}$	+	$\sum_{n=1}^N \frac{RC}{(1+i)^n}$

Donde: **N** = Vida de servicio deseada    **i** = Tipo de interés real    **n** = Año considerado del evento

# El Acero Inoxidable no es caro si se consideran los costes de Ciclo de Vida<sup>31</sup>

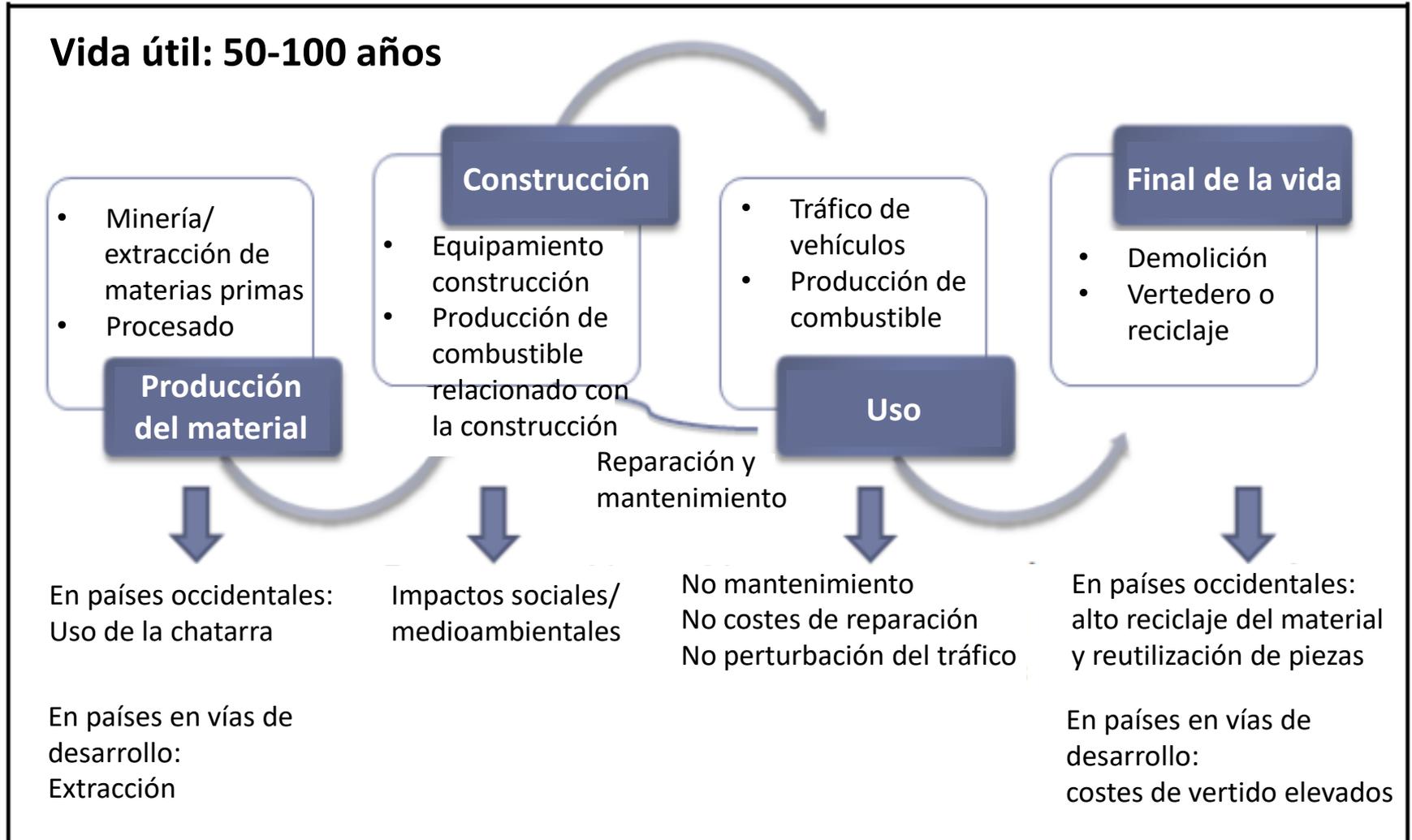
Los costes de otros materiales crecen sustancialmente en el tiempo mientras que el coste del acero inoxidable se mantiene generalmente constante



“La corrosión metálica cuesta a la economía estadounidense más de \$300 billones cada año. Se estima que una tercera parte de este coste (\$100 billones) podría evitarse mediante el empleo de tecnologías disponibles más adecuadas. Esto comienza en el diseño, con la elección de materiales resistentes a la corrosión como el acero inoxidable, y cuantificando los costes iniciales y futuros, incluyendo los de mantenimiento, a partir de las técnicas de Coste de Ciclo de Vida/CCV.”

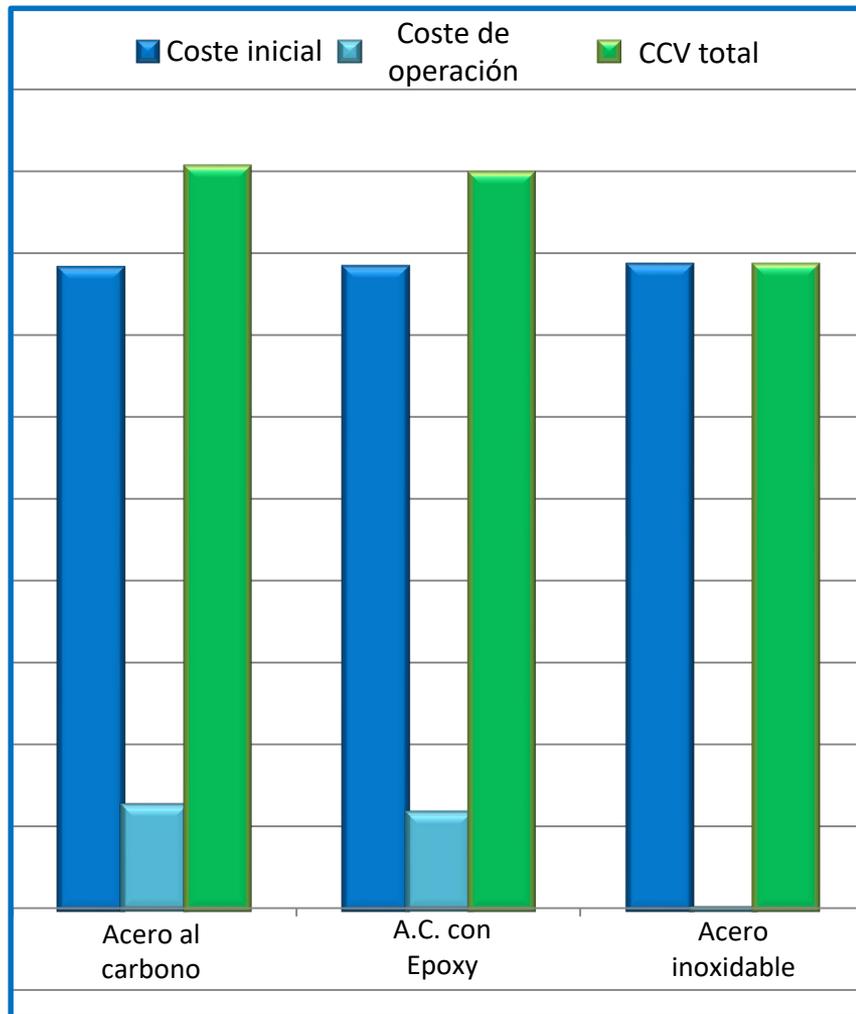
# Ejemplo CCV: Puentes

Ejemplo de las fases del ciclo de vida de un puente de acero inoxidable y su impacto en el medio ambiente en diferentes zonas del mundo



# Ejemplo CCV: Puentes

Resumen de los costes de ciclo de vida para un puente de autopista sobre un río <sup>32</sup>



Descripción	Acero al carbono	A.C. con Epoxy	Acero inoxidable
Coste material	8,197	31,420	88,646
Coste de fabricación	0	0	0
Otros costes de instalación	15,611,354	15,611,345	15,611,354
<b>Costes iniciales</b>	<b>15,619,551</b>	<b>15,642,774</b>	<b>15,700,000</b>
Mantenimiento	0	0	0
Reemplazo	256,239	76,872	-141
Pérdida de producción	2,218,524	2,218,524	0
Relacionado con material	0	0	0
<b>Costes de operación</b>	<b>2,247,763</b>	<b>2,295,396</b>	<b>-141</b>
<b>CCV TOTAL</b>	<b>18,094,314</b>	<b>17,937,170</b>	<b>15,699,859</b>

# Ejemplo de CCV: Cubierta

## Coste del Ciclo de Vida de una cubierta<sup>33, 34, 35</sup>



Sistema de cubierta convencional, ~30 años

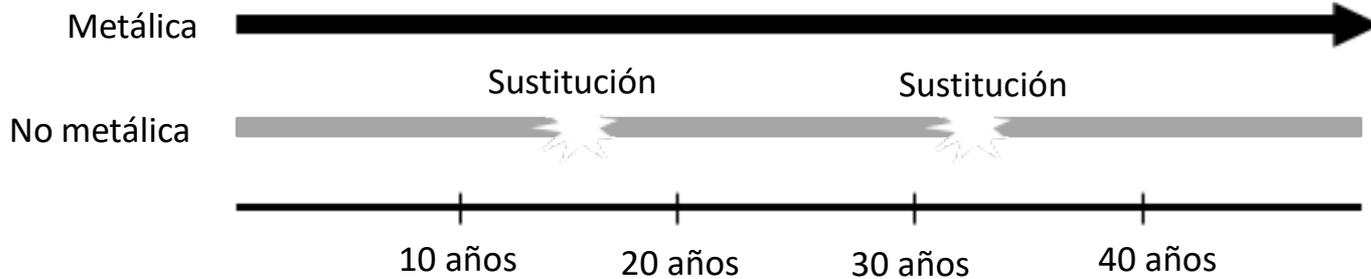


Sistema de cubierta metálica, 40-50 años



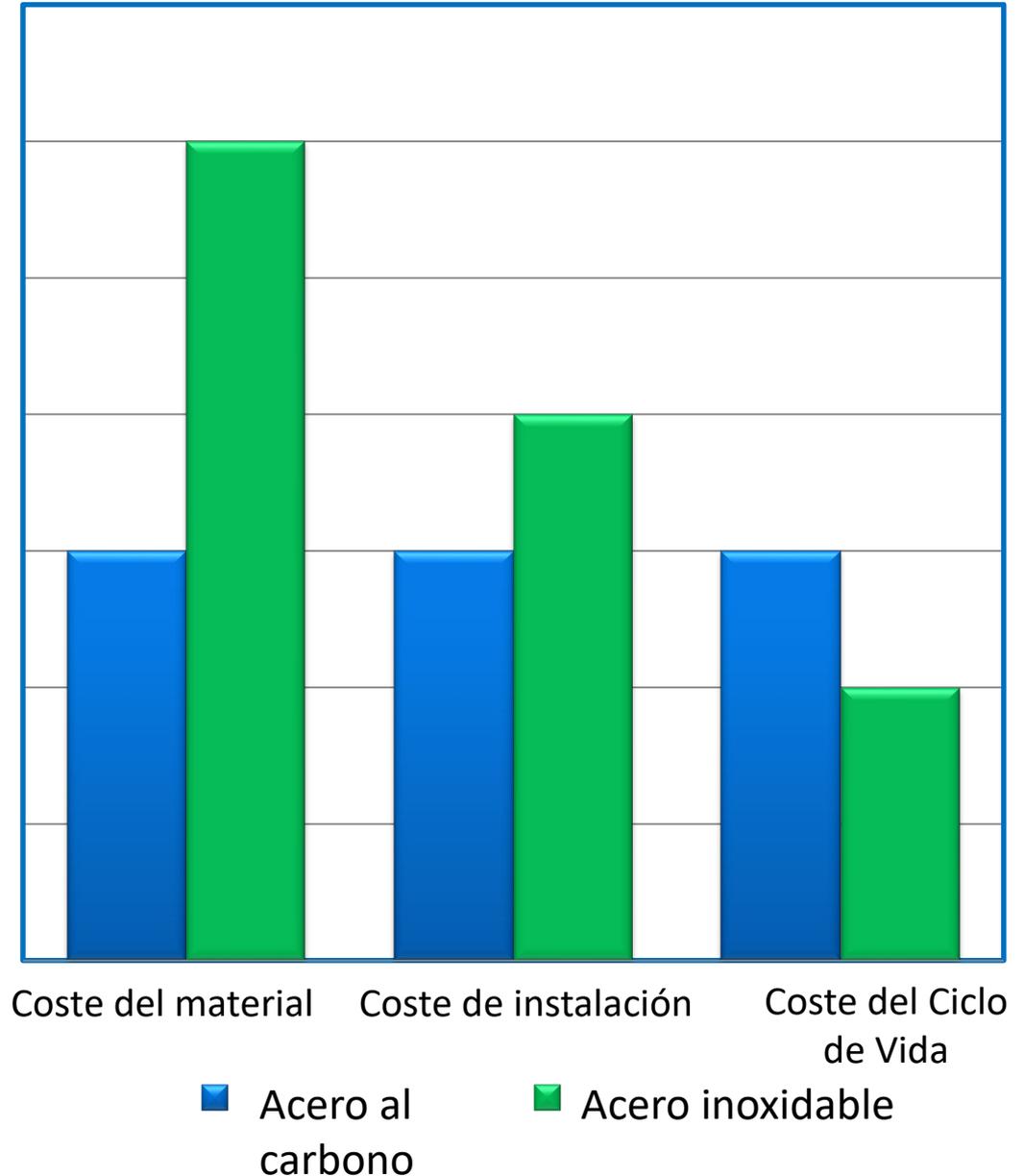
Sistema de cubierta en acero inoxidable, más de 50 años

+ 50 años



## Ejemplo de CCV: Cubierta

Comparación de costes para un acero al carbono galvanizado de 0.6 mm y un acero inoxidable grado 1.4401 de 0.4 mm: Debido a las propiedades mecánicas del acero inoxidable, puede reducirse el espesor a 0.5 o 0.4 mm, lo que supone una reducción de peso (3.2 kg/m<sup>2</sup> para el acero al carbono con recubrimiento de 0.7 mm). Mientras que el acero al carbono recubierto tiene una vida útil de entre 15 a 20 años, la vida de servicio de cubiertas de acero inoxidable es generalmente la misma que la del edificio.



# Arquitectura en Acero Inoxidable Eterna<sup>43</sup>



Hotel Savoy, Londres, 1929



Edificio Empire State, Nueva York, 1931



Edificio Chrysler, Nueva York, 1930



Pasarela Hélice, Singapur, 2011



Torres Petronas, Kuala Lumpur



Cloud Gate "Jelly Bean", Chicago, 2008

# Comparación del Coste de Ciclo de Vida <sup>36, 37, 38, 39, 40</sup>

Monumento	Finalizado	Material	Altura	Mantenimiento
Torre Eiffel – París 	1889 	Hierro forjado	324m	Cada 7 años. Cada campaña de pintado dura alrededor de un año y medio (15 meses). 50 a 60 toneladas de pintura, 25 pintores, 1500 brochas, 5000 discos de lijado y 1500 conjuntos de ropa de trabajo.
Edificio Chrysler (Cubierta y entrada) – Nueva York 	1930 (cubierta 1929)	Acero inoxidable austenítico (302)	319m	Dos veces en 1951, 1961. Se desconoce la solución para el lavado de 1961. En 1995 se empleó un detergente suave, un desengrasador y un abrasivo.

# Qué hace al Acero Inoxidable “Verde”?

## Evaluación medioambiental del Acero Inoxidable<sup>41</sup>

¿Cuál es el contenido de material reciclado?	60%
¿Es 100% reciclable?	Sí
¿Cuenta con una vida útil larga?	Sí (reduce la frecuencia de mantenimiento y colocación)
¿Existe contenido reciclado?	Sí (tanto post-consumidor como post-industrial)
¿Evita el depósito de los desechos de construcción en vertederos?	Sí (alto valor residual y potencial de reutilización de los productos)
¿Puede ser recuperado y reutilizado durante procesos de renovación?	Sí
¿Es un material de baja emisión?	Sí (no recubrimiento = cero emisión)
¿Puede ayudar a mejorar la calidad del aire en interiores?	Sí (no componentes orgánicos volátiles, eliminación de bacterias, conductos resistentes a la corrosión)
¿Ayuda a evitar el uso de materiales tóxicos?	Sí (barreras de larga duración contra termitas, mínima escorrentía en tejados)
¿Puede ahorrar energía?	Sí (protectores solares, cubiertas)
¿Puede ayudar a generar energía limpia?	Sí (paneles solares, depuradoras en plantas energéticas)
¿Puede preservar agua?	Sí (tanques y conductos de agua resistentes a la corrosión y terremotos)
¿Pueden los paneles reflectantes añadir luz natural?	Sí
¿Puede incrementar la vida útil de otros materiales?	Sí (anclajes en piedra y obra de fábrica, sujeciones para madera y metales de vida útil larga)

# CONCLUSIONES

- La sostenibilidad es un gran e importante reto para el futuro de la industria del acero inoxidable. Se han realizado importantes esfuerzos para reducir su huella de carbono mediante el impulso de su reciclabilidad y mejora de procesos.
- El acero inoxidable presenta una combinación de propiedades que deberían tenerse en cuenta en los procesos de toma de decisiones de las fases de proyecto y diseño:
  - Propiedades mecánicas
  - Propiedades de resistencia a la corrosión
  - Resistencia frente a incendio
  - Reciclabilidad
  - Larga vida útil
  - Costes de mantenimiento bajos
  - Neutralidad e Higiene
  - Estética
  - Neutralidad al agua de lluvia

# Referencias y fuentes

1. <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:a5cd469c-89cb-4d57-9ad8-13a0d86d65f0/Sustainability+indicator+definitions+and+relevance.pdf>
2. <http://ghginstitute.org/2010/06/28/what-is-a-global-warming-potential/>
3. <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>
4. <https://www.gsa.gov/portal/content/101197>
5. Recycled content is defined in accordance with the ISO Standard 14021 -Environmental labels and declarations - Self declared environmental claims (Type II environmental labeling).
6. <http://www.greenspec.co.uk/building-design/recycled-content/>
7. <http://www.fao.org/docrep/u2246e/u2246e02.htm>
8. B. Rossi. Stainless steel in structures: Fourth International Structural Stainless Steel Experts Seminar. Ascot, UK. 6-7 December 2012.
9. Source: Yale University/ISSF Stainless Steel Project, 2013
10. B. Rossi. ArcelorMittal International Scientific Network in Steel Construction Sustainability Workshop and Third Plenary Meeting, Bruxelles, 2010.
11. B. Rossi. Stainless steel in structures: Fourth International Structural Stainless Steel Experts Seminar. Ascot, UK. 6-7 December 2012.
13. T.E. Norgate, S. Jahanshahi, W.J. Rankin. Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production 15 (2007), 838-848.
14. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html>

# Referencias y fuentes

15. ISSF [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF Stainless Steel and CO2.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_and_CO2.pdf). Data from European and Japanese ISSF members
16. Based on 2013 data, including 60% scrap content (and therefore 40% new materials) and energy contribution to GHG
17. Data provided by ISSF, estimates calculated by SCM. Includes 60% recycled content
18. ISSF [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org). Data from European and Japanese ISSF members
19. T.E. Norgate, S. Jahanshahi, W.J. Rankin. Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production 15 (2007), 838-848.
20. T.E. Norgate, S. Jahanshahi, W.J. Rankin. Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production 15 (2007), 838-848.
21. B. Rossi. Stainless steel in structures: Fourth International Structural Stainless Steel Experts Seminar. Ascot, UK. 6-7 December 2012.
22. C. Houska. Sustainable Stainless Steel Architectural.
23. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html>
24. <https://www.drkarenslee.com/comparing-reusable-bottles-stainless-steel-glass-plastic/>
25. Yale University/ISSF Stainless Steel Project, 2013
26. The Greening of a Convention Centre. Nickel, Volume 23, Number 3, June 2008, 6-9.
27. <https://www.nickelinstitute.org/Sustainability/LifeCycleManagement/LifeCycleAssessments/LCAProgress/Pier.aspx>
28. International Stainless Steel Forum [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)
29. World Steel Association
30. A. Dusart, H. El-Deeb, N. Jaouhari, D. Ka, L.Ruf . Final Report ISSF Workshop. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2011.

# Referencias y fuentes

31. [http://www.ssina.com/download\\_a\\_file/lifecycle.pdf](http://www.ssina.com/download_a_file/lifecycle.pdf)
32. <https://www.nickelinstitute.org/nickel-magazine/nickel-magazine-vol-31-no1-2016/>
33. [www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/RoofingTech\\_EN.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/RoofingTech_EN.pdf)
34. <http://www.ametalsystems.com/RoofLifecycleCostComparison.aspx>
35. <http://www.metalroofing.com/v2/content/guide/costs/life-cycle-costs.cfm>
36. <https://www.tou Eiffel.paris/en>
37. [https://en.wikipedia.org/wiki/Eiffel\\_Tower](https://en.wikipedia.org/wiki/Eiffel_Tower)
38. <http://corrosion-doctors.org/Landmarks/Eiffel.htm>
39. [http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler\\_Building#](http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building#)
40. Nickel Development Institute. Timeless Stainless Architecture. Reference Book Series No 11 023, 2001
41. C. Houska. Sustainable Stainless Steel Architectural. Construction Canada, September 2008, 58-72.
42. Nickel Development Institute. Timeless Stainless Architecture. Reference Book Series No 11 023, 2001
43. G. Gedge. Structural uses of stainless steel — buildings and civil engineering. Journal of Constructional Steel Research 64 (2008), 1194–1198.
44. <http://www.metalsforbuildings.eu/>
45. <http://www.circle-economy.com/circular-economy/>
46. <http://www.irishenvironment.com/iepedia/circular-economy/>

Muchas gracias

# Apéndice

## Reciclaje de otros materiales

Es un problema complejo

Este apartado sólo pretende proporcionar algunas ideas sobre otros materiales para su comparación

Se detallan las fuentes de información

# Más sobre el reciclaje: el cemento y el hormigón

<http://www.wbcdcement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-FullReport.pdf>

- Puede emplearse un máximo del 20% de hormigón reciclado en un hormigón nuevo
  - sólo como árido, no como cemento
  - por tanto, el hormigón resultante es de menor calidad, no apto para todas las aplicaciones
- Parece que la mayoría del hormigón va a parar a las capas de base de carreteras y vertederos tras su demolición (no hay figuras detalladas disponibles)
- El triturado del hormigón viejo y su transporte son las operaciones principales del reciclaje, las cuales deben compararse con la extracción local de árido.
- En general, el reciclaje siempre conlleva a un producto de menor calidad (downcycling).
- La reutilización de bloques tras la demolición del hormigón es una actividad marginal hoy en día, pero podría representar la ruta más directa para la reutilización sin downcycling. ¡Aunque no resulta fácil de implementar!

# Más sobre el reciclaje: los plásticos

<http://www-g.eng.cam.ac.uk/impee/?section=topics&topic=RecyclePlastics&page=materials>

- **Desecho interno** (generado en las plantas de producción) actualmente se recicla cerca del 100%
- **El reciclaje de plásticos usados** es un gran problema:
  - La recolección requiere mucho tiempo, es muy cara.
  - Clasificar residuos de plástico mezclado es difícil – la contaminación es inevitable.
  - La eliminación de etiquetas, impresiones al 100% es prácticamente imposible.
  - La contaminación de cualquier tipo compromete la reutilización en aplicaciones de alta tecnología “hi-tech”
    - => los plásticos reciclados (aparte de desechos internos) se reutilizan en aplicaciones de menor grado (downcycling): PET: alfombras baratas, forros; PE y PP: bloques, bancos de parques
    - => y/o serán quemados o enterrados, o en el peor caso, dejados flotando en los océanos.

# Más sobre el reciclaje: la madera (de ABC\*)

- La mejor opción de reciclaje es, evidentemente, la reutilización. Parece que se está realizando un gran esfuerzo en la recogida, reacondicionamiento y re-fabricación de madera estructural y otros productos de madera. No obstante, la cantidad que se reutiliza no está clara.
- Se han encontrado un número creciente de nuevos usos para la madera estructural sin tratar: productos para la tierra y horticultura, lechos animales, superficies de pistas ecuestres...
- La madera estructural tratada (los tratamientos químicos previenen podredumbre, hongos, insectos y daños por UV) contiene componentes químicos dañinos, los cuales limitan considerablemente su uso. Se han empleado mayoritariamente en tableros de partículas, aunque su final de vida es aún incierto.
- Nótese que la deforestación globalizada que está sufriendo el planeta no augura una disponibilidad ilimitada de nueva madera, especialmente en los países nórdicos, en los que un árbol necesita un siglo para su completo desarrollo.

[https://www.dtsc.ca.gov/HazardousWaste/upload/TWW\\_Final.pdf](https://www.dtsc.ca.gov/HazardousWaste/upload/TWW_Final.pdf)

<https://woodrecyclers.org/about-waste-wood/wood-recycling-information/>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Wood\\_preservation](http://en.wikipedia.org/wiki/Wood_preservation)

<http://www.wasteminz.org.nz/wp-content/uploads/Scott-Rhodes.pdf>

<http://www.brighthub.com/environment/green-living/articles/106146.aspx>

\*ABC: Architecture, Building and Construction