

## Acero sustentable: ¿Cómo se relaciona con el cambio climático?

### Sustainable steel: How does it relate to climate change?

Arturo Cruz Avilés <sup>a</sup>, Martín Ortiz Domínguez <sup>b</sup>, Ángel J. Morales Robles <sup>c</sup>

---

#### Abstract:

Steel is a non-renewable natural resource; steel production in the manufacturing sector is the sector with the highest greenhouse gas emissions, and this is due to the fact that coal with a high carbon content is used in the production process. This paper discusses how steel is related to climate change and recommends other steel production options to reduce polluting emissions.

#### Keywords:

Steel, industrial emissions, manufacturing, climate change

---

#### Resumen:

El acero es un recurso natural no renovable, la producción de acero en el sector manufacturero es el que más emisiones de gases efecto invernadero tiene y esto se debe a que en su proceso de producción se utiliza carbón con alto contenido de carbono. En el presente trabajo se aborda como se relaciona el acero con el cambio climático y se recomiendan otras opciones de producción de acero para disminuir las emisiones contaminantes.

#### Palabras Clave:

Acero, emisiones industriales, manufactura, cambio climático

---

### Introducción

La Revolución Industrial cambió por completo la forma en que producimos bienes de consumo. Aprovechando nuevas fuentes de electricidad y métodos para producir productos más rápido utilizando menos energía humana, construimos la enorme industria que conocemos hoy. Sin embargo, aunque esto ha llevado a avances significativos en el desarrollo humano, todavía hay motivos para comparar el aumento de las temperaturas con la época "preindustrial". De hecho, la industria en su conjunto fue directamente responsable del 24% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero en 2019 (incluido el consumo de energía).

La mayoría de estas emisiones provienen de la quema de combustibles fósiles para alimentar máquinas y fábricas utilizadas para fabricar de todo, desde automóviles hasta cerillas. El resto de las emisiones industriales son subproductos de procesos químicos, como la producción de cemento y fertilizantes agrícolas. Este curso le mostrará las muchas formas nuevas e innovadoras en las que intentamos hacer que nuestra industria sea más limpia y sostenible. Empecemos por el acero. El acero nos rodea todos los días, en todos los ámbitos de la vida.

---

<sup>a</sup> Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-0455-1646>, Email: [arturo\\_cruz8085@uaeh.edu.mx](mailto:arturo_cruz8085@uaeh.edu.mx)

<sup>b</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-4475-9804>, Email: [martin\\_ortiz@uaeh.edu.mx](mailto:martin_ortiz@uaeh.edu.mx)

<sup>c</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Área Académica de Ciencias de la Tierra | Pachuca de Soto-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0003-6810-6565>, Email: [mo298963@uaeh.edu.mx](mailto:mo298963@uaeh.edu.mx)



Figura 1. Uso de los aceros. Fuente:

### El uso del acero

La demanda mundial de acero es tan alta que la industria siderúrgica por sí sola contribuyó aproximadamente al 25% de las emisiones industriales globales de CO<sub>2</sub> en 2018. El acero es una aleación. Esto significa que es una mezcla de metales, concretamente hierro, con carbono añadido para mayor durabilidad. Mezclarlo con otros elementos puede crear muchos tipos diferentes de acero.

A continuación, podemos ver un ejemplo de la composición de un tipo específico de acero inoxidable austenítico grado 303 como se puede apreciar en la Figura 2, este tipo de aceros cuenta con por lo menos 8 elementos diferentes en su composición química.

#### Tipo: acero inoxidable austenítico grado 303

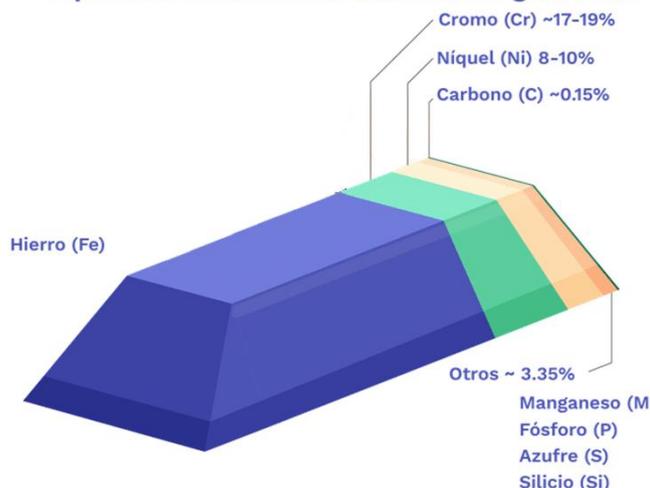


Figura 2. Composición del acero inoxidable austenítico grado 303. Fuente:

### Como contribuye el acero al cambio climático

El acero tiene potencial para ser un material muy sostenible porque dura mucho tiempo, es muy resistente y fácil de reciclar. Sin embargo, debido a la dependencia del coque (fabricado calentando carbón a altas temperaturas) como materia prima clave y de los combustibles fósiles para su funcionamiento, la producción de acero es un proceso que consume mucha energía. En la Figura 3, se puede apreciar la demanda de energía y la intensidad de consumo energético.

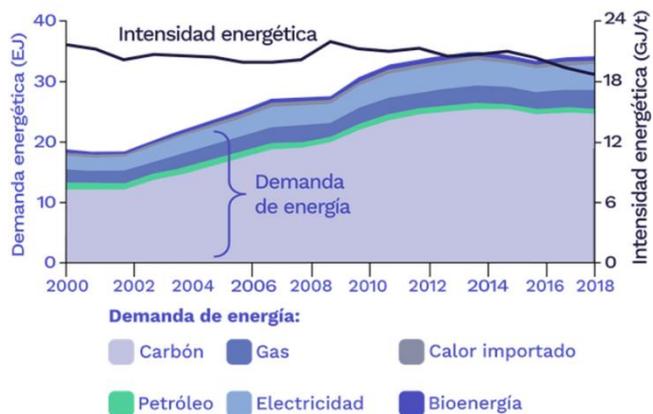


Figura 3. La demanda de energía para el acero, mientras la intensidad ha disminuido ligeramente. Fuente:

Para poner las cosas en contexto, si el acero fuera un país, sería el cuarto mayor productor de emisiones de dióxido de carbono del mundo. Por cada tonelada de acero producida, se emiten aproximadamente 1,9 toneladas de dióxido de carbono. Este es un problema importante del cambio climático dado el tamaño de la industria siderúrgica; Para que nos hagamos una idea, en 2022 se produjeron unos 1.890 millones de toneladas de acero en todo el mundo. Esto implica que la industria siderúrgica es enorme. Si cada tonelada de acero producida emite alrededor de 1.9 toneladas de dióxido de carbono y si en el 2022 se produjeron 1.89 mil millones de toneladas de acero. Aproximadamente se podrían construir 250000 Torres Eiffel (estructura metálica) con el acero producido (ver Figura 4).



Figura 4. Torre Eiffel.

Por otra parte, es lamentablemente que la historia no termine con las emisiones de dióxido de carbono. La producción de acero también produce compuestos nocivos y contaminantes como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (N<sub>2</sub>O) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) que contribuyen a la lluvia ácida, afectando el suelo y la vegetación. Además, calentar coque en un alto horno libera una sustancia llamada naftaleno, que se cree que causa cáncer.

### Proceso de obtención de acero

La producción de acero en su manera más básica está echo de una mezcla de carbono y hierro a muy altas temperaturas (arriba de 1430 °C). la industria siderúrgica incluye tres pasos para la producción de acero:

1. Preparación de materias primas (coque)
2. producción de hierro
3. Industria siderúrgica

**Preparación de materia prima:** el carbón se calienta en un ambiente libre de oxígeno para producir coque, un combustible rico en carbono responsable de la mayoría de las emisiones de la producción de acero.

**Fundición de hierro:** el coque se quema en un alto horno con piedra caliza y mineral de hierro. La piedra caliza arroja impurezas y se convierte en "escoria", mientras que el mineral de hierro se convierte en hierro fundido.

**Fabricación de acero:** finalmente, se eliminan las impurezas del hierro fundido para formar acero.

En la Figura 5 se muestra el proceso de como se fabrica el acero en los tres sencillos pasos mencionados anteriormente.



Figura 5. Proceso de fabricación del acero.

Los métodos más recientes son más eficaces, pero siguen basándose en las mismas tres etapas mencionadas anteriormente. Utilizando estas etapas hay dos formas principales de producir acero:

1. **Alto horno.** El 71% de todo el acero se produce de esta manera. Utiliza mineral de hierro fundido como material de partida y coque como agente reductor (ver Figura 6).

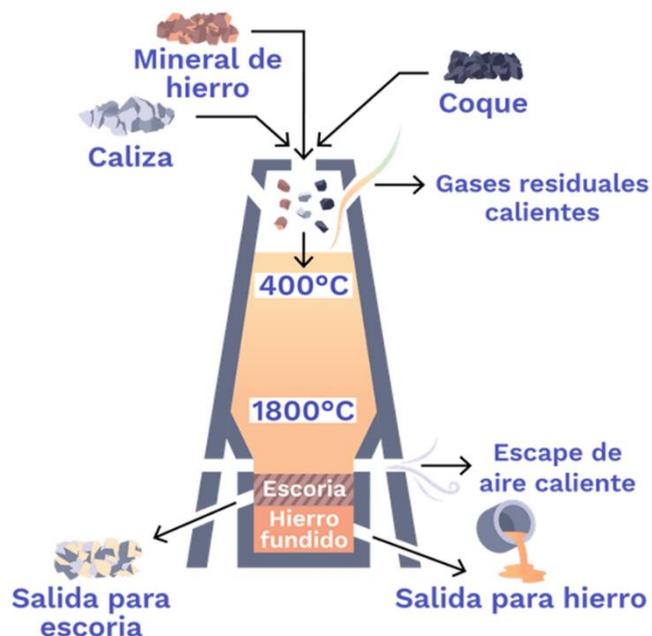


Figura 6. Fabricación de acero en un alto horno

2. **Hornos eléctricos de arco (EAF):** producen el 23% de todo el acero. En ellos se utiliza acero reciclado como material de partida. En comparación con los altos hornos, estos hornos son más pequeños y no necesitan coque como agente reductor (ya que utilizan electricidad para fundir el mineral de hierro), por lo que producen mucho menos CO<sub>2</sub>.

Si los hornos de arco eléctrico son más baratos y producen menos CO<sub>2</sub>,

### Países con mayor producción de acero

El mercado de producción de acero está dominado por China, seguida de India y Japón. Es mucho más probable que los países de renta baja dominen los futuros aumentos del consumo debido al crecimiento económico previsto. Se prevé que India registre el mayor crecimiento, **un 400% de 2015 a 2050**, seguida de los países africanos y de Oriente Medio.

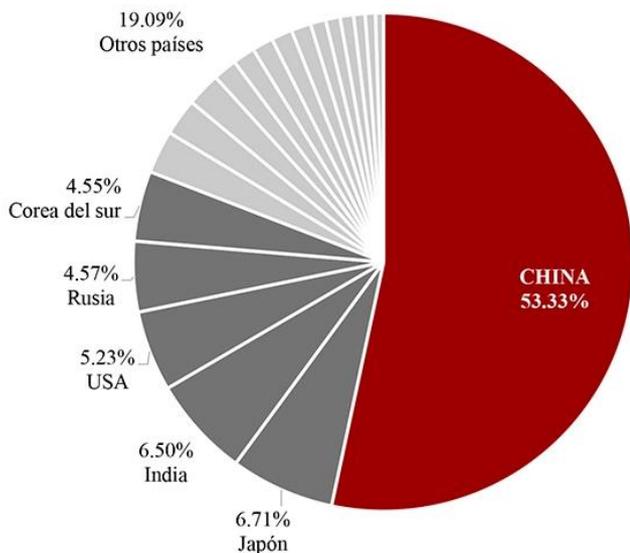


Figura 8. Producción de acero por naciones.

<https://slyg-block.com/articulo/acero-y-construccion-en-la-coyuntura-actual-colombiana/>

### Soluciones para reducir las emisiones

Para mantenerse en línea con los objetivos de cero emisiones netas para 2050, la intensidad de CO<sub>2</sub> del

acero tendría que reducirse una media del 4% anual desde ahora hasta 2030. La tendencia actual no sigue esta senda de reducción. Por lo tanto, es esencial que hagamos los cambios necesarios para descarbonizar la industria.

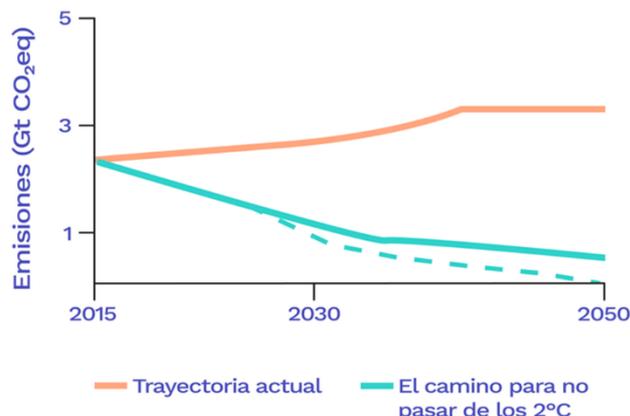


Figura 9. Trayectoria de emisiones de CO<sub>2</sub> del acero.

Recuerde que las emisiones en la producción de acero son un efecto del uso del coque como agente reductor y de las distintas operaciones dentro de la cadena de producción. Entonces, ¿cómo reducimos estas emisiones?

Tratando el material que produce las emisiones (es decir, el coque) o tratando las propias emisiones. ¿Cómo?

**Reciclando.** El acero es 100% reciclable, por lo que el uso de chatarra de acero es una de las formas en que las empresas intentan reducir las emisiones. Este proceso consume **alrededor de un 70% menos de energía** que la producción de acero nuevo.

**Hierro obtenido por reducción directa.** En lugar de utilizar coque para reducir el hierro, podemos emplear hidrógeno como agente reductor alternativo. Utilizar hidrógeno de esta forma podría eliminar el CO<sub>2</sub> del proceso de fabricación del acero, ya que sólo genera vapor de agua (a diferencia del coque). Aunque todavía no se ha comercializado, muchas empresas han descubierto que esta tecnología es viable.

Tres empresas suecas han creado una iniciativa llamada Tecnología Avanzada de Producción de Hierro con Hidrogeno (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology). Su objetivo es aumentar significativamente la productividad energética y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> utilizando hidrógeno, producido por electrólisis, ¡como agente reductor!

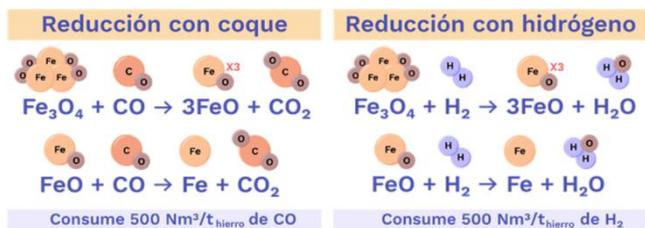


Figura 10. Reacción Química de reducción con coque vs hidrógeno

**Electrólisis.** Este método utiliza electricidad en lugar de calor para reducir el mineral de hierro. El mineral se disuelve en una solución fundida y se hace pasar una corriente a través de él. Este método, sin embargo, sigue presentando algunos problemas técnicos, como los altos costes y el elevado consumo de energía, pero muchos están trabajando para resolverlos.



Figura 11. Intensidad de CO<sub>2</sub> de diferentes tipos de producción de acero.

## Conclusión

En conclusión, existen algunos inconvenientes al considerar alternativas y es importante evaluar su viabilidad. Para la industria siderúrgica, es muy difícil seguir una senda de descarbonización sin aumentar los costes de forma significativa. Esto se debe en parte a que muchos de los métodos de descarbonización propuestos implican nuevas tecnologías. Por ejemplo, debido a que se encuentra en una fase temprana de desarrollo, acceder al hidrógeno utilizado en el hierro de reducción directa (DRI) a partir de fuentes de energía limpias podría aumentar el coste entre un 20 y un 30%. Asimismo, el papel del acero en la economía y el estilo de vida sustentable es muy necesario para construir edificios energéticamente eficientes, para fabricar transportes con bajas emisiones de carbono, para fabricar tejidos

respetuosos con el medio ambiente, para crear eléctricas eficientes y fiables.

## Referencias

- Climate Science Ltd, (2024). *Sustainable Steel: What's climate change got to do with steel?*. Recuperado de <https://climatescience.org/advanced-steel-climate>
- Enríquez-Berciano, J. L., (2009). *Acería Eléctrica*. [En línea] Universidad Politécnica de Madrid, 2009. <https://www.virtualpro.co/revista/industria-del-acero/14>
- Espinoza, L. F., Gastell-Piloto, L. y Cruz, J. G., (2019). *Factores de Competitividad en la Industria del Acero en Líderes Mundiales: Una Revisión de la Literatura*. [En línea] Universidad Autónoma de Nuevo León, julio de 2019. [http://www.web.facpya.uanl.mx/vinculategica/vinculategica\\_5\\_2/A.11%20Factores%20de%20competitividad%20en%20la%20industria%20del%20acero%20en%20el%20C3%ADderes%20mundiales.pdf](http://www.web.facpya.uanl.mx/vinculategica/vinculategica_5_2/A.11%20Factores%20de%20competitividad%20en%20la%20industria%20del%20acero%20en%20el%20C3%ADderes%20mundiales.pdf)