



Artículo de Divulgación

# Gestión Ambiental en Ingeniería Metalúrgica

## Environmental Management in Metallurgical Engineering

### RESUMEN

En el siglo pasado, la relación entre la ingeniería metalúrgica y la sostenibilidad ambiental se veía como algo contradictorio. La idea predominante era “si queremos desarrollo productivo, debemos aceptar los daños ambientales “inevitables” que ello implica”. Así, la ingeniería metalúrgica debía ocuparse de maximizar la productividad, sin preocuparse por los impactos ambientales causados, lo que era materia de otros profesionales. El siglo XXI es, en cambio, la era del “Desarrollo Sostenible” y ello implica que las empresas y los profesionales que diseñan ejecutan y dirigen procesos productivos, deben “gestionar su relación con el medio ambiente”. De ello depende hoy no solo la supervivencia de las empresas, que deben cumplir con normas estatales y privadas, así como con presiones del mercado, sino que también la supervivencia de nuestra especie. Así, el Ingeniero del siglo XXI, requiere de conocimientos y actitudes que le permitan desarrollarse eficientemente en un entorno empresarial en el cual la gestión ambiental es un elemento esencial de su funcionamiento.

**Palabras clave:** Ambiente; Sostenibilidad; Educación; Ingeniería; Metalurgia

### ABSTRACT

In the last century, the relationship between metallurgical engineering and environmental sustainability was often perceived as contradictory. The prevailing notion was that “if we want productive development, we must accept the ‘inevitable’ environmental damage it entails.” Metallurgical engineering was thus focused on maximizing productivity, with little concern for the environmental impacts caused—an issue delegated to other professionals. In contrast, the 21st century is the era of “Sustainable Development,” which requires companies and professionals who design, implement, and manage industrial processes to actively “manage their relationship with the environment.” Today, this is essential not only for the survival of companies—who must comply with both public and private regulations and market pressures—but also for the survival of our species. As such, the 21st-century engineer must possess the knowledge and attitudes necessary to operate efficiently in a business environment where environmental management is a core component of industrial operations.

**Keywords:** Environment; Sustainability; Education; Engineering; Metallurgy

### Autor de Correspondencia

**Roberto Molina Viveros**

roberto.molina@usach.cl

Departamento de Ingeniería Metalúrgica  
Universidad de Santiago de Chile

Artículo Recibido: 7 de abril, 2025

Artículo Aceptado: 29 de abril, 2025

Artículo Publicado: 10 de junio, 2024



## Introducción

Hasta el año 1972, la propuesta de incluir Gestión Ambiental en el Curriculum de formación de Ingenieros Metalúrgicos habría causado la hilaridad de muchos directorios de empresas metalúrgicas en el mundo y también en muchos centros de formación de ingenieros para esta área.

Desde sus orígenes, la minería, la metalurgia productiva (concentradoras, fundiciones, refinerías, procesadoras de metales etc.), la química metalurgia y el metal mecánico han sido actividades que han causado impactos ambientales negativos al medio ambiente, en magnitud similar al aporte que estas actividades han hecho para el avance de la humanidad.

El largo camino iniciado hace cinco mil años atrás, (Montero Ruiz y Murillo-Barroso, 2016) con los modestos hornos de arcilla en que se fundía cobre, llevó a luego a la manipulación de las aleaciones (en especial el bronce) y hace tres mil años a la fundición del hierro que generó una fuerte revolución tecnológica, prefigurando a lo que fue posteriormente la gran Revolución Industrial del siglo XVIII, que puso definitivamente a la metalurgia como la piedra angular del desarrollo tecnológico y económico de la era moderna.

Pero mientras que las bendiciones de un mundo con industrias, trenes, aviones, puentes, satélites, sistemas de comunicación etc. se multiplicaban, también se multiplicaron los impactos ambientales causados por la extracción, procesamiento y elaboración de metales: suelos destruidos, pérdida y contaminación de recursos acuíferos, emisiones de gases tóxicos al aire, fuertes emisiones de dióxido de carbono y un largo etcétera de afectaciones a los hábitats en que se ejecutaban estas operaciones productivas (Mercado, 2023).

La industria moderna, en especial desde inicios del siglo XIX, estaba centrada en lograr la más alta producción, por lo que las técnicas y procesos se hicieron masivos, pero sin tomar en cuenta el costo ambiental de ese incremento productivo. Se entendía que una gestión empresarial exitosa era aquella que lograra la mayor rentabilidad del capital invertido, aumentando la productividad y bajando los costos. Y dentro de los “costos” no se incluía el deterioro del ambiente que la actividad causaba.

En un análisis de costos típico de los siglos XIX y XX, se consideraban los costos fijos, los de materias primas, los de mano de obra, etc, pero no existían los costos ambientales, las pérdidas causadas por contaminación, pérdida de biodiversidad, o los impactos al ambiente social de la zona en que se operaba.

Estos costos se catalogaban como “externalidades negativas”, es decir, pérdidas que están fuera o que son “externas” al proceso productivo y al balance de costos de la empresa. En otras palabras, el daño ambiental era una pérdida asumida por la sociedad en su conjunto y no por los dueños de la actividad que los causaba y que obtenían rentabilidad directa por dicha actividad.

Todo ello cambió a partir de 1972. La preocupación por el cuidado del medio ambiente, tema que hasta entonces estaba constreñido a algunos pensadores y teóricos de las humanidades, comenzó a tomar un perfil muy distinto.

Un grupo de líderes políticos, economistas, científicos y líderes empresariales, que formaban el “Club de Roma”, habían encargado un estudio científico nada menos que al Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), sobre la relación entre el crecimiento económico, el aumento de la población y la capacidad de la naturaleza para mantener ese crecimiento. El estudio, ejecutado por científicos que utilizaron la metodología de simulación computacional fue concluyente: es imposible mantener un crecimiento económico infinito al interior de un planeta finito. Más aún, las perspectivas indicaban que, de seguir operando ese modelo económico, la calidad de vida de la humanidad e incluso la viabilidad de la especie corría serios peligros debido a las profundas modificaciones que experimentaría el planeta en su globalidad (Meadows & Meadows, 1972).

Ese mismo año, se inicia la gestión ambiental internacional, a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, (llamada también Cumbre de la Tierra), que fue la primera conferencia mundial sobre el medio ambiente, celebrada en Estocolmo, Suecia, del 5 al 16 de junio de 1972, en la que se adoptó la Declaración de Estocolmo y el Plan de Acción para el Medio Ambiente Humano, que comprometían a todos los países miembros de la ONU.

Desde entonces y hasta hoy, la Gestión Ambiental, tanto mundial como nacional, fue creando las condiciones para que la conciencia sobre los impactos negativos de los procesos productivos en el medio ambiente, llegara a ser tan alta que las empresas fueran reguladas en este aspecto, desde la potestad de los Gobiernos, que generaron Tratados, Leyes, Reglamentos, Normas y otros instrumentos de gestión ambiental que apuntaban a impedir o limitar los efectos negativos de los procesos productivos en el medio ambiente.

La creación de normativa obligatoria, hizo que poco a poco, las empresas tuvieran que ir “internalizando” las “externalidades” ambientales negativas que generaban, primero para dar cumplimiento a las exigencias gubernamentales, pero en un segundo espacio, para responder a las exigencias de sus propios clientes, que comenzaron a evaluar este aspecto.

Así en Chile a partir de 1994, en que se promulga la Ley 19300 “Ley de Bases del Medio Ambiente” (Ley N° 19.300, 1994), las empresas debieron someter sus proyectos a Evaluación Ambiental, obtener Resoluciones de Calificación Ambiental aprobatorias, respetar Normas de Emisión, Planes de Descontaminación y Planes de Prevención, y enfrentar la acción supervisora del Estado.

En esta realidad, las empresas chilenas se pliegan a las prácticas que ya existían en el mundo empresarial internacional y empiezan a adoptar sistemas de gestión ambiental, destinados a controlar los impactos de sus procesos productivos.

Surgen así las Gerencias y los Departamentos de Medio Ambiente en el mundo de la minería y la metalurgia. Ya al año 2000 toda la gran empresa metalúrgica tenía estas entidades directivas en su organigrama. Las empresas medianas alcanzan ese desarrollo aproximadamente en el año 2010 y ahora esta tendencia ya está cubriendo incluso a la pequeña empresa.

Colaboró a este proceso, la transformación del Sistema de Gestión Ambiental estatal de Chile, que genera en el año 2010 (Ley 20.417) la transformación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, en el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), con un Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), una Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), un Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) y la creación de los Tribunales Ambientales.

Esta institucionalidad agregó eficacia a los roles que debe cubrir la gestión ambiental estatal, aumentando rápidamente la cantidad de Normas Ambientales, de Planes de Prevención y de Descontaminación, el Control y Supervisión de los proyectos productivos y las sanciones por incumplimientos.

Las empresas metalúrgicas se encuentran así con tres factores que las motivan a establecer sistemas de Gestión Ambiental en sus sistemas administrativos:

1. El fortalecimiento de las funciones estatales de Normar, Prevenir, Controlar y Sancionar los impactos ambientales no deseados.
2. Las presiones de los inversionistas extranjeros. En efecto, como la mayor parte de las empresas metalúrgicas están vinculadas a inversionistas extranjeros, que deben cumplir con estándares altos en esta materia en sus países de origen, se ven impelidas a formalizar sus propios sistemas de Gestión Ambiental.
3. Las presiones de los clientes. El desarrollo político de la conciencia ambiental de la humanidad, comienza a expresarse en el mercado como un alza en los estándares de exigencias relativas a la sostenibilidad de los procesos que generan productos de consumo, factor que se convierte en elemento de toma de decisiones respecto de la compra de ellos.

Por otra parte, el desarrollo de la Participación Ciudadana en los procesos de toma de decisiones respecto de la evaluación de los proyectos productivos, ha generado la necesidad imperiosa para la empresa, de ser capaz de manejar los criterios de sostenibilidad ambiental desde la planificación de los proyectos productivos, su implementación y su finalización o abandono.

La Gestión Ambiental, como factor determinante de la posibilidad de concreción y desarrollo de un proyecto metalúrgico, se ha visto expresada en Chile en varios eventos, de los que son destacables las sanciones ambientales aplicadas al proyecto minero Pascua Lama, que fue presentado en el año 2001 y tuvo que iniciar su cierre el año 2019, casi sin haber extraído mineral, debido a fuertes errores e incumplimientos de su Resolución de Calificación Ambiental. También las motivaciones ambientales del cierre de la histó-

rica Refinería de Las Ventanas, después de 58 años de operaciones refleja la diferencia entre un Chile que carecía de políticas y normativas ambientales en los años 1961 y 1966 en que se inauguraron la fundición y luego la refinería electrolítica y el Chile actual en el que las emisiones contaminantes de antaño ya no pueden ser permitidas y se aplica un Plan de Descontaminación Atmosférica que les pone fin.

En este Chile del Siglo XXI, desde una mega fundición hasta una fábrica de tornillos o de modestos muebles metálicos, todos deben incluir, en sus etapas de planificación, ejecución, operación y abandono, las consideraciones ambientales de sostenibilidad, tanto obligatorias como voluntarias. En eso consiste la Gestión Ambiental.

En el siglo (y milenio) recién pasado, un proyecto metalúrgico se analizaba fundamentalmente desde tres perspectivas:

- 1. Factibilidad Técnica** (¿Se puede ejecutar con las técnicas y métodos actualmente disponibles)
- 2. Factibilidad Legal** (¿Se puede ejecutar cumpliendo la legislación vigente?) y
- 3. Factibilidad Financiera** (¿Se puede ejecutar con el capital disponible y obteniendo una rentabilidad igual o superior a otras inversiones del mercado? Responder afirmativamente a estas tres interrogantes bastaba para tomar una decisión.

Hoy, a estas interrogantes se sumó un cuarto punto:

- 4. Factibilidad Ambiental** (¿Se puede ejecutar en el marco de la sostenibilidad fijada por el Estado y por la Política Ambiental de la empresa?

Como indica la consultora MindCo “En la era moderna, la sostenibilidad y la gestión eficiente de activos han emergido como dos conceptos inextricablemente ligados. Históricamente, la gestión de activos se ha enfocado en maximizar la eficiencia operativa y la rentabilidad. Pero hoy en día, la perspectiva ha evolucionado. Ahora, se considera no sólo la rentabilidad, sino también el impacto ambiental y social de la operación de estos activos. La sostenibilidad emerge, entonces, como un imperativo: se trata de garantizar que las operaciones industriales actuales no comprometan las necesidades de las futuras generaciones chilenas” (Mindco, 2023).

Así, en el siglo XXI las empresas agregan a su estructura, además de la Gerencia de Administración, la de Producción y la de Comercialización, las Gerencias de Medio Ambiente u otros nombres similares.

Esto genera una demanda laboral nueva: los profesionales expertos en esta área eran casi inexistentes en Chile antes del año 2000. Las grandes empresas extranjeras que operaban en Chile traían a sus profesionales ambientales desde Europa, Canadá o USA. La Universidad de la Frontera (UFRO) creó en 1993 la carrera de Ingeniería Ambiental, pero, al igual que las universidades que le siguieron, el enfoque de ella estaba centrado en los recursos naturales renovables, especialmente el recurso forestal y agrícola.

Esto generó una ineficiencia en el ámbito industrial. Los proyectos productivos, diseñados por un Ingeniero industrial o de alguna especialidad (metalúrgico, eléctrico etc.), carecían de las consideraciones ambientales que ahora estaban siendo exigidas por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) de manera obligatoria.

Esto implicaba que, una vez diseñado el Proyecto, un Ingeniero o experto medioambiental debía rediseñarlo, esta vez incluyendo dichas consideraciones, lo cual cambiaba el proceso técnico original y modificaba los costos iniciales. Por otra parte, el esquema administrativo de trabajo generalmente consistía en que el proyecto ya diseñado, era enviado a una empresa externa de consultoría ambiental, quien generaba una Estudio o una Declaración de Impacto Ambiental, según lo necesario, sin mucho contacto con el área técnica.

El modelo de externalización de la gestión ambiental de la empresa demostró rápidamente que no era capaz de responder a las demandas cada día más exigentes en esta área, que implicaban un trabajo constante, en todas las etapas de los proyectos productivos. Se requería una estructura interna, de la propia empresa, que se hiciera cargo de esta función cada día mayor.

Pero también esta situación modificó la demanda en la formación de las Ingenierías específicas. No se podía mantener la dicotomía entre los ingenieros “técnicos”, que diseñaban o dirigían sistemas productivos sin conocer ni aplicar las políticas y normativas que apuntan a la sostenibilidad de esos sistemas, y los ingenieros “medioambientales” que, conociendo

do y aplicando esas políticas y normativas, carecían de los conocimientos técnicos específicos referidos a esos sistemas productivos en particular.

Para que existiera un buen diálogo entre ellos, que posibilitara un desarrollo eficiente de los sistemas de gestión ambiental empresarial, se hizo indispensable agregar al perfil formativo de las ingenierías “duras” una base de conocimientos específicos sobre gestión ambiental, además de una acción educativa que propenda a generar una actitud de responsabilidad ambiental en el cumplimiento de sus labores.

Nace así la respuesta afirmativa a la pregunta que da inicio a este artículo: ¿Gestión Ambiental en Ingeniería Metalúrgica? ¡Por supuesto que sí!

Conscientes de que el Siglo XXI impone desafíos totalmente nuevos a los sistemas productivos, en especial en lo que concierne a su sostenibilidad ambiental y habiendo comprobado que la industria metalúrgica tiene una especial demanda a este respecto ya que se encuentra en pleno proceso de desarrollo de sus sistemas de gestión ambiental empresarial, los que le posibilitarán mantener su competitividad en el futuro, ha incluido en su malla curricular la asignatura de “Gestión Ambiental en Metalurgia”, como asignatura obligatoria de la Ingeniería Civil en Metalurgia y como optativo en Ingeniería en Ejecución.

Esta decisión, entrega a nuestros estudiantes una faceta de alto valor en su perfil de egreso: la capacidad de entender y enfrentar, en sus lugares de trabajo, los aspectos de gestión ambiental que les sean requeridos por sus empresas, el desarrollo de capacidades que les permitan “pensar la producción” desde una perspectiva de sostenibilidad y adscribirse rápidamente a los sistemas de gestión ambiental ya implementados en las empresas o colaborar con su desarrollo en aquellas que se están incorporando a este proceso, que hoy se percibe como obligatorio en toda industria que desee mantener su vigencia. Ello también favorece la empleabilidad de nuestros egresados, ya que una de las dificultades que las

empresas enfrentan hoy para la implementación de sus sistemas de Gestión Ambiental ISO 14.001 o los vinculados a la normativa OHSAS, es que deben comenzar por capacitar a su personal desde un nivel elemental, ya que la gestión ambiental es desconocida en el ámbito técnico. Por el contrario, el contar con profesionales que se integran teniendo ya los conocimientos y, fundamentalmente las actitudes, coherentes con el desarrollo de sus sistemas de gestión ambiental y que pueden ejercer liderazgo en ese sentido, les facilita dicho desarrollo.

La comprensión y capacidad de análisis de los impactos ambientales de los procesos que operan, el conocimiento de la normativa e institucionalidad ambiental y, por sobre todo, la capacidad de generar una visión de economía circular y técnicas de producción limpia aplicables a su ámbito de acción, entregan a estos futuros profesionales un sello que les permite hacer frente al mayor desafío de las empresas en el Siglo XXI: generar sistemas de producción sostenibles que aseguren la supervivencia de la humanidad en el planeta.

## **Conclusión**

El transitar, desde una producción metalúrgica no sostenible, a una que, si lo sea, es una necesidad urgente en la economía de nuestro país, que depende en alto grado de esta área productiva. Por tal motivo, el perfil de egreso de los Ingenieros Metalúrgicos chilenos debe incluir los conocimientos y actitudes que faciliten a sus empresas el desarrollar los sistemas de gestión ambiental que, en su mayoría, ya han incorporado a sus procesos.

Así, la acción curricular de la USACH consistente en incluir la Gestión Ambiental en la malla formativa de los Ingenieros Metalúrgicos no es solo un aporte su empleabilidad y desarrollo profesional, y un aporte a la actividad de las empresas metalúrgicas en este ámbito, sino también un aporte concreto al desarrollo sostenible de nuestro país y al cumplimiento de los Compromisos de Desarrollo Sostenible (CDS) adquiridos por Chile para el año 2030.

## Referencias

Ley N° 19.300. 1994. Ley de Bases Generales del Medio Ambiente.  
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667>

Ley N° 20.417. 2010. Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del medio ambiente.  
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1010459>

Meadows D, Meadows D. 1972. Los límites del crecimiento. Fondo de Cultura Económica, México.

Mercado A. 2023. Impacto ambiental de la metalurgia. En: <https://www.adrianmercado.com.ar/blog/impacto-ambiental-de-la-metalurgia>

MinCo. <https://www.mindco.cl/2023/10/30/la-gestion-de-activos-y-la-sostenibilidad-en-las-industrias-de-chile>

Montero Ruiz I, Murillo-Barroso M. 2016. Los inicios de la metalurgia y el valor social del metal. Menga: Revista de prehistoria de Andalucía 7: 15-29.  
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667>

## Gestión Ambiental



Refinería Las Ventanas en operaciones y posteriormente al haberse aplicado el Plan de Descontaminación Atmosférica.