

ESTUDIOS DE CASO

MODELOS DE NEGOCIO DE HIDRÓGENO VERDE EN LATINOAMÉRICA

2.

**DESCARBONIZACIÓN
DEL SECTOR
CEMENTERO EN CHILE**

Esta publicación forma parte de las actividades del proyecto “Avanzando un Enfoque Regional hacia la Economía del Hidrógeno Verde en América Latina y el Caribe” (H2 ¡Vamos! / H2 Go!), una iniciativa liderada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y financiada por el Fondo Verde para el Clima. El proyecto busca fortalecer las capacidades regionales para impulsar una economía del hidrógeno verde justa, inclusiva y sostenible.

CONTENIDO

1. Resumen Ejecutivo	3
2. Contexto y Antecedentes	3
3. Descripción del Proyecto	3
4. Uso de la tecnología	4
5. Propuesta de Valor	5
6. Proyectos Similares en América Latina y Adaptación Regional	5
7. Segmento de Mercado	6
8. Actividades Clave	6
9. Socios Clave	7
10. Resultados y Beneficios	8
11. Estructura de Costos	8
12. Estructura de Financiamiento	9
13. Fuentes de Ingresos	9
14. Lecciones Aprendidas	10
15. Conclusiones	11
16. Fuentes	12

1. RESUMEN EJECUTIVO

Cementos Melón, una de las principales empresas cementeras de Chile, lidera un proyecto innovador para reducir las emisiones de CO₂ en el sector mediante la integración de hidrógeno verde como combustible en sus molinos de crudo. Este proyecto piloto utiliza electrolizadores alimentados por energía renovable para producir hidrógeno, que luego es mezclado con gas natural. Con una proyección de reducción de emisiones de hasta 60 tonCO₂/año y un enfoque escalable, este proyecto busca posicionar a la empresa como líder en sostenibilidad dentro de la industria cementera a nivel regional e internacional [1].



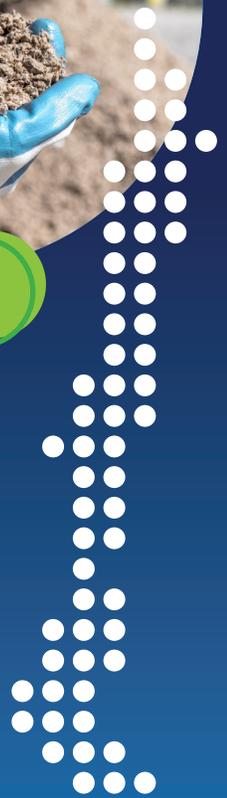
2. CONTEXTO Y ANTECEDENTES

La industria cementera contribuye al 8% de las emisiones globales de CO₂ debido al uso intensivo de combustibles fósiles en la calcinación del clínker y las emisiones químicas inherentes al proceso (descarbonatación de la piedra caliza). En Chile, la construcción representa una parte importante del PIB y ha experimentado una creciente demanda de materiales sostenibles, impulsada por la transición energética y las metas climáticas globales. En este contexto, la “Hoja de Ruta Cemento y Hormigón 2050” y el Plan Nacional de Hidrógeno Verde crean un marco regulatorio y estratégico ideal para que empresas como Cementos Melón lideren iniciativas innovadoras de descarbonización [2]



3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto piloto de Cementos Melón busca integrar hidrógeno verde como combustible en la planta de producción ubicada en la región de Los Lagos. El hidrógeno será producido localmente



mediante electrólisis, utilizando energía solar y eólica, lo que garantiza un ciclo de producción completamente sostenible. Durante la fase inicial, se planea una mezcla de hidrógeno verde y gas natural, con la meta de alcanzar una proporción del 10% de hidrógeno para 2050 (acuerdo firmado por Melón en la Hoja de Ruta NetZero 2050 de la Federación Interamericana de Cemento) [3].

4. USO DE LA TECNOLOGÍA

La integración del hidrógeno verde en los molinos de crudo implica los siguientes procesos:

1. Producción de Hidrógeno Verde:

Los electrolizadores alcalinos producen hidrógeno utilizando electricidad proveniente de fuentes renovables. El agua utilizada es tratada previamente mediante sistemas de desionización para optimizar la eficiencia del proceso.

2. Mezcla de Combustibles:

En la fase inicial, los **molinos de crudo** operarán con una mezcla de hidrógeno verde y combustibles fósiles tradicionales. La proporción de hidrógeno aumentará gradualmente conforme se optimicen los sistemas técnicos y logísticos.

3. Adaptaciones Técnicas:

- ▶ **Quemadores Modificados:** diseñados para manejar la alta velocidad de combustión y menor densidad energética del hidrógeno.
- ▶ **Sistemas de Control de Combustión:** monitoreo en tiempo real de la eficiencia de combustión y la calidad de los gases emitidos.
- ▶ **Revestimientos Refractarios:** actualización del interior de los molinos para resistir temperaturas y condiciones asociadas a la combustión del hidrógeno.

4. Resultados Esperados:

- ▶ Una reducción de emisiones de CO2 anuales.
- ▶ Mejoras en la eficiencia térmica y reducción de contaminantes secundarios como los óxidos de nitrógeno (NOx).



5. PROPUESTA DE VALOR

El cemento producido con hidrógeno verde permite a Cementos Melón ofrecer un material con una huella de carbono reducida, cumpliendo con las exigencias de mercados internacionales que priorizan materiales sostenibles. Este enfoque no solo reduce la dependencia de combustibles fósiles, sino que también mejora la competitividad de la empresa en un mercado donde las regulaciones ambientales son cada vez más estrictas. Además, el proyecto contribuye al posicionamiento de Chile como líder en la transición hacia una economía baja en carbono [1].

6. PROYECTOS SIMILARES EN AMÉRICA LATINA Y ADAPTACIÓN REGIONAL

La industria del cemento es una de las más intensivas en carbono, representando aproximadamente el 8% de las emisiones globales de CO₂. En este contexto, el uso de hidrógeno verde como sustituto de combustibles fósiles representa una estrategia clave para avanzar hacia la neutralidad de carbono.

En América Latina, varias empresas están comenzando a implementar esta tecnología.

Uno de los casos más destacados es el de **CEMEX Panamá**, que ha incorporado hidrógeno verde en su planta de Calzada Larga mediante sistemas de combustión continua [4].

En **México**, **CEMEX** implementará tecnología de inyección de hidrógeno en cuatro plantas cementeras como parte de su estrategia Future in Action para reducir emisiones [5].

Por su parte, **Holcim México** ha anunciado un proyecto piloto para la inyección de hidrógeno en hornos cementeros como parte de sus planes de descarbonización en la región [6].



Estos casos demuestran un avance tangible hacia la integración del hidrógeno verde en la industria cementera latinoamericana, aunque persisten desafíos relacionados con costos de producción, infraestructura e implementación tecnológica.

7. SEGMENTO DE MERCADO

El mercado objetivo del proyecto de Cementos Melón se enfoca en satisfacer la creciente demanda de materiales sostenibles en la industria de la construcción y en otros sectores industriales. A nivel nacional, las constructoras que desarrollan proyectos de infraestructura pública, como hospitales, carreteras y viviendas, son un segmento clave. Estos actores buscan materiales que cumplan con los estándares de sostenibilidad establecidos por las normativas chilenas y los compromisos climáticos internacionales.

A nivel internacional, el proyecto está dirigido a mercados como Europa y América del Norte, donde existe una alta demanda de productos con certificación de bajo impacto ambiental. La creciente presión regulatoria en estos mercados obliga a las constructoras y desarrolladores a utilizar materiales que reduzcan su huella de carbono. Adicionalmente, Cementos Melón planea colaborar con industrias mineras y energéticas que operan en proyectos de gran escala, donde el cemento bajo en carbono puede jugar un papel importante en la reducción de emisiones generales de las operaciones [1].

Por último, los gobiernos locales que implementan proyectos sostenibles y promueven prácticas responsables en la construcción también son un mercado relevante. Esto incluye asociaciones público-privadas para la creación de infraestructura sostenible en Chile y en el extranjero.

8. ACTIVIDADES CLAVE

El éxito del proyecto de Cementos Melón se sustenta en una serie de actividades estratégicas diseñadas para garantizar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la iniciativa. Estas actividades se describen a continuación:

1. Producción de Hidrógeno Verde
2. Adaptación Tecnológica: revestimientos
3. Monitoreo y Certificaciones Ambientales.
4. Capacitación y Sensibilización

FASES DE DESARROLLO DEL PROYECTO:

- ▶ **Fase 1 (2024-2025):** Estudios de viabilidad y diseño conceptual.
- ▶ **Fase 2 (2026):** Instalación de infraestructura inicial y pruebas piloto.
- ▶ **Fase 3 (2026-2027):** Inicio de operaciones a mayor escala y validación de tecnologías.
- ▶ **Fase 4 (2028-2030):** Escalamiento del uso de hidrógeno optimización de procesos.

Estas actividades garantizan no solo la implementación exitosa del proyecto, sino también su capacidad de servir como modelo para otras industrias cementeras.

9. SOCIOS CLAVE

El proyecto cuenta con la colaboración de varios socios estratégicos que desempeñan roles fundamentales en su implementación y éxito a largo plazo. Entre ellos se encuentran:

- 1. Gobierno de Chile:** El gobierno, a través de incentivos fiscales y regulaciones favorables, facilita la ejecución del proyecto. Además, promueve la participación de Cementos Melón como ejemplo en iniciativas de descarbonización industrial.
- 2. Organismos Internacionales:** Instituciones como el Fondo Verde para el Clima y el Banco Mundial brindan financiamiento y asistencia técnica, fortaleciendo la viabilidad económica del proyecto y su alineación con metas climáticas globales.
- 3. Instituciones Académicas:** Universidades chilenas participan en la investigación y desarrollo de adaptaciones tecnológicas, así como en la capacitación de la fuerza laboral involucrada en el proyecto.

10. RESULTADOS Y BENEFICIOS



1. Ambientales:

Disminución de otros contaminantes, como óxidos de nitrógeno (NOx), mediante sistemas avanzados de control de emisiones.



2. Económicos:

Incremento en la competitividad del cemento bajo en carbono, permitiendo acceder a mercados internacionales con regulaciones ambientales estrictas.



3. Sociales:

Estos resultados confirman la viabilidad técnica, económica y social del proyecto, consolidándolo como un modelo replicable en otras plantas cementeras y sectores industriales.

11. ESTRUCTURA DE COSTOS

La estructura de costos del proyecto de descarbonización de Cementos Melón mediante el uso de hidrógeno verde se detalla en dos categorías principales: inversión inicial y costos operativos recurrentes.

1. Adaptación de Molinos de Crudo:

- ▶ **Modificación de Quemadores y Sistemas de Combustión:** La adaptación de los hornos para el uso de hidrógeno como combustible requiere la modificación de los quemadores y sistemas de combustión.
- ▶ **Sistemas de Control y Monitoreo:** Implementación de sistemas avanzados para monitorear y controlar la combustión del hidrógeno, asegurando eficiencia y seguridad.

2. Infraestructura Logística y Transporte:

- ▶ Sistemas de Transporte Interno: Desarrollo de sistemas para el transporte seguro de hidrógeno dentro de la planta.

3. Capacitación y Certificación Ambiental:

- ▶ Programas de Capacitación Técnica: Formación del personal en el manejo de nuevas tecnologías y protocolos de seguridad.

Es importante destacar que los costos de producción del hidrógeno verde están sujetos a variaciones según las tarifas eléctricas, la eficiencia de los electrolizadores y las economías de escala. Se proyecta que, con la disminución de los costos de las energías renovables y el avance tecnológico, el costo de producción del hidrógeno verde en Chile podría reducirse en un 30% hacia 2030 [7].

12. ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO

La información detallada sobre la estructura de financiamiento de este proyecto no ha sido proporcionada por la empresa desarrolladora. Sin embargo, dada la naturaleza innovadora y estratégica del proyecto, se estima que ha contado con una combinación de recursos propios, apoyo gubernamental e incentivos disponibles en el marco de la estrategia nacional de hidrógeno verde y la hoja de ruta sectorial.

La experiencia de Cementos Melón demuestra que, incluso en ausencia de financiamiento climático externo, las empresas con visión a largo plazo pueden liderar procesos de transición energética mediante inversiones progresivas, apalancadas en marcos regulatorios favorables y objetivos de sostenibilidad corporativa.

13. FUENTES DE INGRESOS

Los ingresos del proyecto provienen de varias fuentes clave, que contribuyen a su rentabilidad y sostenibilidad:

Beneficios Fiscales: Incentivos otorgados por el gobierno chileno, incluyendo reducciones en el costo de energía renovable y exenciones fiscales para proyectos sostenibles, representan un ahorro anual.



14. LECCIONES APRENDIDAS

El desarrollo de este proyecto ha revelado varias lecciones importantes para la descarbonización del sector industrial:

1. Colaboración Público-Privada:

La combinación de incentivos gubernamentales, financiamiento internacional y recursos privados es fundamental para viabilizar proyectos de esta magnitud.

2. Adaptación Tecnológica:

La implementación de hidrógeno verde en producción de cemento requiere adaptaciones técnicas complejas, pero las tecnologías actuales permiten mantener la calidad del producto mientras se reducen significativamente las emisiones.

3. Capacitación y Conciencia:

La formación de personal técnico y las campañas de sensibilización para comunidades locales son esenciales para garantizar la aceptación social y el éxito operativo del proyecto.

4. Viabilidad Económica:

Aunque los costos iniciales son elevados, la disminución proyectada en los precios del hidrógeno verde y los ingresos adicionales derivados de la venta de certificados de carbono hacen que el proyecto sea económicamente viable a largo plazo.

5. Escalabilidad:

Este modelo puede ser replicado en otras plantas cementeras y sectores industriales, sirviendo como referencia para futuras iniciativas de descarbonización en Chile y América Latina.

15. CONCLUSIONES

El proyecto de Cementos Melón representa un avance significativo en la transición hacia una industria cementera sostenible en Chile. Al incorporar hidrógeno verde como combustible, la empresa no solo reduce su huella de carbono, sino que también mejora su competitividad en mercados internacionales. Este modelo combina innovación tecnológica, financiamiento estratégico y colaboración entre actores clave, estableciendo un precedente para la descarbonización de otros sectores industriales en la región. Con una planificación adecuada y un enfoque escalable, Cementos Melón se posiciona como líder en sostenibilidad, contribuyendo a los objetivos climáticos globales y fortaleciendo el compromiso de Chile con la carbono-neutralidad al 2050 [1].

16. FUENTES

- [1] Melón, “Reporte Integrado 2023”, 2024. [Online]. Available: <https://www.melon.cl/wp-content/uploads/2024/04/Reporte-Integrado-Melo%CC%81n-240416.pdf>
- [2] Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, “Industria del cemento y hormigón firma Hoja de Ruta Net-Zero para lograr la carbono-neutralidad al 2050”, 2021. [Online]. Available: <https://sustentabilidad.ich.cl/prensa/industria-del-cemento-y-hormigon-firma-hoja-de-ruta-net-zero-para-lograr-la-carbono-neutralidad-al-2050-2/>
- [3] Federación Interamericana del Cemento (FICEM), “Hoja de Ruta Net Zero 2050”, 2022. [Online]. Available: <https://ficem.org/wp-content/uploads/2022/12/COMITE-SOSTENIBILIDAD-FICEM-29112022.pdf>
- [4] BNamericas, “CEMEX achieves certification through AES Panamá, of its new green hydrogen station”, 2023. [Online]. Available: <https://www.bnamericas.com/en/news/cemex-achieves-certification-through-aes-panama-of-its-new-green-hydrogen-station>
- [5] CEMEX, “CEMEX to introduce hydrogen technology to reduce CO₂ emissions in four cement plants in Mexico”, 2022. [Online]. Available: <https://www.cemex.com/w/cemex-to-introduce-hydrogen-technology-to-reduce-co2-emissions-in-four-cement-plants-in-mexico>
- [6] Royal White Cement, “Holcim Mexico to trial hydrogen injection in cement kilns”, 2023. [Online]. Available: <https://www.royalwhitecement.com/news/holcim-mexico-to-trial-hydrogen-injection-in-cement-kilns>
- [7] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, “Industria del hidrógeno verde: costos de producción”, 2021. [Online]. Available: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32538/1/BCN___Hidrogeno_verde_Costos_de_produccion_Sept21.pdf

