



FCH
FUNDACIÓN CHILE

Economía Circular y sector Construcción en Chile:

Fundación Chile
Julio 2020

Esta nota técnica fue desarrollada por Fundación Chile para la Comisión Nacional de Productividad, en el marco del proyecto Productividad del sector de la Construcción.

Julio 2020

Elaborador por:



Patrocinador:



Equipo Técnico:

Vladimir Glasinovic (Fundación Chile)

Maya Hirsch (Fundación Chile)

Francisca Pacheco (Consultora)

Diego Rivera (Consultor)

Diego Mena (Consultor)

Resumen Ejecutivo

Durante las últimas décadas, el mundo ha experimentado un aumento sin precedentes en la demanda por materias primas. El crecimiento poblacional y económico ha generado una presión significativa sobre los recursos naturales y el medioambiente, generando una mayor volatilidad en el precio de las materias primas y un rápido agotamiento de los recursos naturales. El sector de la construcción no se encuentra ajeno a este desafío, viéndose afectado por las consecuencias de este uso intensivo de los recursos naturales, así como también contribuyendo al agotamiento de ellos.

En la **primera sección** se presenta uno de los principales desafíos asociados al modelo económico tradicional, que dice relación con la pérdida de capital natural a nivel mundial. Los procesos actuales de producción plantean serias dudas sobre la capacidad de los recursos naturales para satisfacer las necesidades materiales y energéticas de la economía global. El análisis permite observar los bajos niveles de productividad en el uso de los recursos de las economías mundiales. Chile no es la excepción, siendo el país de la OECD cuya economía presenta una menor eficiencia en el uso de sus recursos [**Hallazgo 1**]. Esto presenta un desafío para nuestro país, por cuanto una mejora de la productividad en el uso de los recursos permitiría desacoplar el crecimiento económico del deterioro medioambiental. La economía circular se presenta como una alternativa que permitiría alcanzar dicho objetivo, y Chile debe avanzar en esa dirección [**Hallazgo 2**]. Las estimaciones sugieren que una economía circular no sólo permitiría mejorar la productividad en el uso de los recursos, sino también tendría impactos positivos sobre el crecimiento económico de los países y el empleo¹.

El análisis elaborado en este informe indica que, dado el significativo aporte del sector de la construcción a la economía y su alto potencial de circularidad, debe considerarse como un sector estratégico para la implementación de la economía circular en Chile [**Hallazgo 3**]. De acuerdo a las últimas estimaciones disponibles, el sector de la construcción se observaba como el mayor generador de residuos sólidos industriales en el país, dando cuenta de un 34% del total de los residuos generados (CONAMA, 2010). Ello significó un incremento del 72% desde el año 2000. Así, el aumento continuo de los flujos de residuos da cuenta de la necesidad de adoptar un enfoque integral que aborde las fallas de mercado, regulatorias y de gobernanza en esta materia, de tal forma de gestionar los residuos como recursos.

Un enfoque circular en el sector de la construcción implica construir pensando en el futuro. En línea con la evidencia internacional, este informe identifica cuatro principios generales que sustentan la gestión de residuos en una economía circular: i) prevenir la generación de residuos, ii) mejorar la recuperación de residuos, iii) aumentar el uso de materiales reciclados y generar demanda y mercados para productos reciclados, y iv) mejorar la información para apoyar la innovación, guiar la inversión y permitir decisiones informadas de los consumidores.

¹ Estimaciones realizadas por McKinsey y Fundación Ellen MacArthur (2015) – Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe.

La innovación será la herramienta clave para que el sector logre una transición exitosa, lo que permitiría reducir los residuos, diseñar desde el origen de forma ecológica, utilizar materiales reciclados y mejorar el rendimiento de las construcciones.

La **segunda sección** levanta un primer diagnóstico sobre la circularidad del sector de la construcción en Chile. Aquellos países que han adoptado estrategias de economía circular en la construcción han reducido significativamente los residuos generados por el sector². En consecuencia, este diagnóstico tiene como foco principal la generación de residuos de la construcción, considerando que este indicador permitiría dar luces sobre la eficiencia en el uso de los recursos del sector. En Chile, hasta septiembre de 2019, los residuos de la construcción eran clasificados como Residuos industriales, sin tener una figura jurídica propia **[Hallazgo 4]**. Ello presentaba enormes dificultades para su regulación y fiscalización, cuestión que debería cambiar con la introducción del reglamento de la nueva normativa que los define³.

Actualmente, la única fuente oficial que contiene datos sobre la cantidad de residuos sólidos no peligrosos generados por el sector de la construcción es el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). Sin embargo, las cifras reportadas en el RETC estarían muy por debajo de la cantidad de residuos de la construcción efectivamente generada, dando cuenta sólo del 9,5% de éstos **[Hallazgo 6]**. De acuerdo a estimaciones propias elaboradas en este informe, los procesos constructivos de edificaciones residenciales en altura generarían 0,26 m³ de residuos por metro cuadrado construido. Esto implica que, por cada nueve pisos construidos en un edificio, se genera un piso completo de residuos de la construcción. Estos indicadores, en conjunto con indicadores previos levantados por el Ministerio de Vivienda, permiten estimar que en 2018 los residuos de la construcción habrían alcanzado un volumen de 4.822.361 metros cúbicos, equivalentes a más de 6,8 millones de toneladas anuales **[Hallazgo 5]**. Al estimar la cantidad de residuos de la construcción generados en Chile per cápita, se obtiene que por cada chileno se generaría un total de 365 kilos de este tipo de residuos anualmente⁴. Este volumen de residuos equivale aproximadamente a seis rascacielos como la Gran Torre Santiago (torre más alta del complejo Costanera Center).

Estas estimaciones no consideran los residuos generados en las obras de infraestructura construidas en el país, ya el Ministerio de Obras Públicas no tiene información sobre la cantidad de residuos generados en sus obras **[Hallazgo 7]**. Sin embargo, es de esperar que estas obras generen grandes cantidades de residuos, considerando que las bases de licitación de los proyectos no incorporan criterios de sustentabilidad.

A nivel nacional, no existe la obligación de separar o caracterizar los residuos generados en las obras de construcción, por lo que no existe información agregada de la composición de dichos residuos. Sin embargo, de acuerdo a información levantada para este informe, en general, alrededor

² Los residuos de la construcción y demolición (RCD) son residuos provenientes de las construcciones de nuevos proyectos, rehabilitación, reparación y reacondicionamiento de obras existentes, de los procesos de preparación de terrenos y de la demolición de obras.

³ Actualmente, los Ministerios de Vivienda, Obras Públicas y Medio Ambiente se encuentran trabajando en un reglamento para definir los requisitos de instalaciones para disposición final y valorización de los residuos de la construcción.

⁴ Estas estimaciones consideran la población del país reportada por el INE durante el año 2018.

del 70% de los residuos de la construcción correspondería a áridos o pétreos; materia prima fundamental para la elaboración de hormigón **[Hallazgo 8]**. Por lo tanto, los residuos de la construcción estarían principalmente compuestos de materiales inertes con alto potencial de reciclaje. Si se considera que un 70% de los residuos de la construcción son áridos o pétreos, entonces se estarían desperdiciando alrededor de 3,5 millones de metros cúbicos de este material cada año. Asumiendo un precio por metro cúbico de árido de \$15.000, se estima que las empresas constructoras gastarían \$50.600 millones al año en áridos que son desperdiciados como residuos. Esto equivale a USD 66 millones al año⁵. Este impacto económico sería mayor, ya que los residuos de la construcción son materiales que fueron comprados por la empresa y luego trasladados a botaderos. De hecho, estimaciones sugieren que el 87% del costo total de los residuos de la construcción de una obra corresponderían al costo del material involucrado⁶.

Los residuos de la construcción generados en las obras deben ser transportados y dispuestos en sitios autorizados para la disposición final de residuos de la construcción. Sin embargo, Chile presenta grandes desafíos para atender las demandas de disposición final de estos residuos. El país no cuenta con la infraestructura necesaria para ello. Los catastros indican que sólo siete regiones del país contarían con sitios de disposición final de residuos de la construcción regulados, por lo que nueve regiones no tendrían acceso a este tipo de infraestructura **[Hallazgo 9]**. Además, estos sitios no tienen la obligación de hacer control cuantitativo de los residuos de la construcción, lo que dificulta la trazabilidad de éstos. Esta falta de trazabilidad es uno de los desafíos más grandes en esta materia, ya que dificulta la fiscalización y control de los residuos de la construcción **[Hallazgo 10]**.

El servicio de transporte de los residuos generados en la construcción a los sitios de disposición final es realizado por transportistas privados. Este es un servicio altamente informal, lo que resulta en que no exista un catastro público de los transportistas autorizados por la Seremi de Salud. Consecuentemente, el cobro de estos servicios variará según los términos que logren negociar la empresa constructora y los transportistas. Sin embargo, las estimaciones elaboradas en este informe indican que, para obras construidas en la Región Metropolitana, esta tarifa se encontraría alrededor de los \$10.500 por metro cúbico. Este valor se encuentra muy por debajo de los valores cobrados en países donde se han aplicado políticas exitosas para la reducción de los escombros de la construcción⁷ **[Hallazgo 12]**. Por lo tanto, no existirían incentivos económicos para valorizar los residuos de la construcción o reducir la cantidad enviada a botadero. Además, este informe concluye que una de las limitaciones más importantes para realizar una gestión de residuos eficiente es la falta de espacio para acopiar residuos en las obras, lo que implica que la velocidad de retiro de los escombros es un aspecto clave para alcanzar este objetivo **[Hallazgo 11]**.

⁵ Se utiliza un tipo de cambio de \$769.

⁶ Ossio (2018), Cuantificación Económica de los Residuos de Construcción de una Edificación en Altura: Un Caso de Estudio.

⁷ Los escombros se refieren a aquellos residuos de la construcción que no son valorizados y que, por tanto, son enviados a botaderos.

La valorización de los residuos de la construcción se presenta como una oportunidad para reducir los escombros de la construcción y el nivel de pérdidas de material de las empresas constructoras. Además, las estimaciones elaboradas en este informe indican que el transporte y tratamiento de los residuos valorizables es más barato que el de escombros; la madera sería alrededor de 10% más barato y el cartón hasta 18% más barato. A pesar de la oportunidad que presenta la valorización, se estima que sólo el 6% de los residuos sólidos de la construcción fueron revalorizados en 2017 **[Hallazgo 13]**. Ello, en parte, porque en Chile no existe la obligación de valorizar los residuos de la construcción **[Hallazgo 14]**. En consecuencia, los escombros que llegan a los sitios de disposición final incluyen materiales que tienen alto potencial de reciclaje. Por ello, es importante buscar alternativas que permitan incentivar a las empresas constructoras a adoptar esta práctica. Las experiencias analizadas en este informe muestran que los Planes de Gestión de Residuos permiten a las empresas constructoras aumentar rápida y significativamente la cantidad de residuos valorizados **[Hallazgo 15]**.

Ahora bien, uno de los principales desafíos respecto a la valorización de los residuos de la construcción dice relación con el reciclaje de áridos. La mayoría de los residuos de la construcción son áridos y pétreos derivados principalmente del hormigón, por lo que reciclar estos residuos supondría enormes beneficios ambientales y económicos. En Chile, la oferta de áridos es sustantivamente menor que su demanda, por lo que se estima que habrían 7 millones de metros cúbicos proporcionada por el mercado informal. Este sería un negocio de alrededor de USD 120 millones anuales, los que se encuentran exentos de impuestos y generan una pérdida de ganancia para el Fisco **[Hallazgo 16]**. Además, al retirar áridos sin evaluación de los efectos medioambientales, se pueden alterar los cauces de los ríos, provocando inundaciones y socavando construcciones como puentes, con el consiguiente peligro que ello conlleva. Así, una alternativa para generar una mayor oferta de áridos en el país es desarrollar el mercado de los áridos reciclados. Desarrollar el mercado de áridos reciclados en Chile permitiría cubrir parte importante de la demanda por áridos, dado el alto volumen de pétreos que se encuentra en los residuos de la construcción, que según las estimaciones de este informe ascendería a 4,8 millones de toneladas anuales **[Hallazgo 17]**. Al día de hoy, estos áridos están siendo desechados en botaderos año a año. La falta de un mercado para el árido reciclado en Chile se debe tanto a la falta de normativa que lo permita, como a la escasa investigación y desarrollo en la materia, y a los bajos precios del árido transado en el mercado informal **[Hallazgo 18]**.

Con todo, las consecuencias de generar residuos de la construcción no sólo están asociadas a los efectos nocivos en el medioambiente, sino también al impacto económico para las empresas constructoras. Considerando el valor del material involucrado, este informe estima que el costo económico total de desechar los residuos de la construcción generados a nivel nacional podría ascender a \$389.300 millones anuales. Esto es, alrededor de \$20.200 por metro cuadrado construido **[Hallazgo 19]**. Así, por ejemplo, en un edificio residencial en altura de 16.000 m² se generarían alrededor de 4.000 metros cúbicos de residuos, los que implicarían un costo total de \$320 millones (tanto por transporte como por la pérdida del material desechado). Por lo tanto, la cantidad de residuos generados en la obra puede ser considerada como una medida de

productividad de las empresas constructoras, ya que se traduce directamente en costos asociados a su retiro y a la pérdida del material.

Las acciones que permitan reducir los residuos generados en las obras permitirán también reducir los costos, lo que a su vez podría mejorar los niveles de productividad de las empresas constructoras. Una medida concreta para reducir la cantidad de escombros generados en una obra de construcción es hacer gestión de dichos residuos. La experiencia analizada en este informe respecto a las empresas constructoras que han implementado planes de gestión de residuos, muestra que es posible reducir entre un 16% y un 70% de los residuos generados en la obra, dependiendo de la cantidad inicial de residuos generados **[Hallazgo 20]**. Estos planes no presentan altos costos económicos, y permiten ahorros en los costos de transporte de escombros que irían entre el 16% y el 30%. Además, se observa que la gestión de residuos mejora los niveles de productividad de la obra; reduciendo la cantidad de reprocesos y costos asociados a los residuos en la obra **[Hallazgo 21]**.

Finalmente, la **tercera sección** aborda el impacto que puede tener la construcción industrializada en una economía circular en Chile. Se presentan las principales tendencias globales respecto a esta tecnología y su aplicación al sector de la construcción. En Chile, sin embargo, el uso de modelos de construcción industrializada es mínimo, y se estima en alrededor de un 1%. Esto sería consecuencia de la desconfianza de la industria respecto de la seguridad y calidad de esta tecnología **[Hallazgo 22]**. Por lo tanto, el desconocimiento de las ventajas asociadas a la construcción industrializada y a la seguridad de sus métodos constructivos podría estar impidiendo su masificación en el país. Sin embargo, existen en Chile algunas experiencias exitosas de construcción industrializadas; las que son analizadas en este informe. Se concluye que la principal ventaja de los procesos industrializados es la reducción en los tiempos requeridos para terminar las obras, sin sacrificar la calidad de los resultados obtenidos. Además, se observa que la construcción industrializada generaría tan sólo el 27% de los residuos generados en la construcción tradicional, sin aumentos de costos **[Hallazgo 23]**. Por lo tanto, se estima que si Chile alcanzara los niveles de construcción industrializada de los países nórdicos, nuestro país podría generar 880.000 metros cúbicos menos de residuos de la construcción anualmente **[Hallazgo 24]**.

Contenido

1.	La economía circular y sus oportunidades en el sector de la construcción	10
1.1.	Eficiencia y productividad en el uso de los recursos en Chile	10
1.2.	La economía circular como oportunidad de desarrollo	13
1.3.	La economía circular como motor de productividad	15
1.4.	Una economía circular desde el sector de la construcción en Chile	18
2.	Circularidad del sector de la construcción en Chile	22
2.1.	Residuos de la Construcción y Demolición	22
2.2.	Volumen de residuos generados en el sector de la construcción	24
2.3.	Caracterización de los residuos de la construcción	29
2.4.	Transporte y disposición final de los residuos de la construcción	31
2.5.	Valorización de los residuos	38
2.6.	Los áridos como potencial material reciclable	41
2.7.	La gestión de residuos como oportunidad para mejorar la productividad.	45
3.	Construcción Industrializada y economía circular	50
3.1.	Construcción Modularizada	51
3.2.	BIM (Building Information Modeling)	51
3.3.	Impresión 3D	52
3.4.	Construcción Industrializada en Chile	52
	Anexo 1: Institucionalidad economía circular en Chile	57
	Normativa asociada a los residuos de la construcción	59
	Otras iniciativas nacionales	65
	Anexo 2. Acciones y oportunidades para la economía circular en el sector de la construcción, Fundación Ellen MacArthur.	66
	Anexo 3. España en la Gestión de RCD	67
	Bibliografía	68

1. La economía circular y sus oportunidades en el sector de la construcción

Los esfuerzos para combatir el cambio climático se han centrado principalmente en el papel fundamental de la energía renovable y las medidas de eficiencia energética, que dan cuenta del 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero⁸. Sin embargo, cumplir con los objetivos climáticos requerirá también abordar el 45% restante de las emisiones asociadas a la fabricación de productos. Una economía circular ofrece un enfoque sistémico y rentable para abordar este desafío.

Durante las últimas décadas, el mundo ha experimentado un aumento sin precedentes en la demanda por materias primas. Este fenómeno ha sido impulsado por la rápida industrialización de las economías emergentes y los elevados niveles de consumo de materiales de los países en desarrollo⁹. En general, a medida que las economías se industrializan y el ingreso aumenta, el consumo de materiales tiende a aumentar (OECD, 2008b). Por lo tanto, el crecimiento poblacional y el mayor crecimiento económico han generado una presión significativa sobre los recursos naturales y el medioambiente. Esto, a su vez, ha generado una mayor volatilidad en el precio de las materias primas y un rápido agotamiento de los recursos naturales¹⁰.

Los principios de una economía circular ofrecen a las empresas una serie de oportunidades de innovación que reducen los costos de materiales, aumentan la utilización de los activos, y reducen el impacto medioambiental de la fabricación de los productos.

1.1. Eficiencia y productividad en el uso de los recursos en Chile

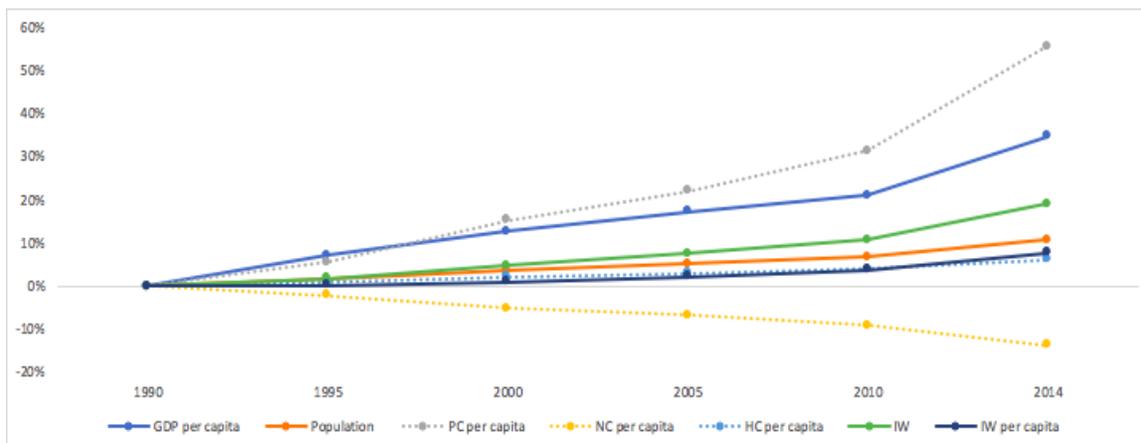
Según el Índice de Enriquecimiento Inclusivo (IWI) elaborado por la ONU, la inmensa mayoría de los países viven por encima de sus medios ambientales. Este índice considera el capital económico, natural y humano, con el objetivo de reflejar de mejor manera la riqueza real de los países y su capacidad futura de crecimiento. Chile es un buen ejemplo de aquellos países que asentaron su crecimiento de capital humano y capital productivo sobre el consumo de recursos naturales (Gráfico 20).

⁸ Fundación Ellen MacArthur.

⁹ “Waste management and circular economy in selected OECD countries: Evidence from Environmental Performance Review”, OECD (2019)

¹⁰ “Inclusive Wealth Report 2018”. UN (2018)

Gráfico 20. Cambios en el IWI per cápita y otros indicadores, Chile, 1990-2014



Fuente: Elaboración propia en base a datos de UN, IWI.

Entre 1990 y 2014, el PIB per cápita de Chile creció 34,7%, mientras que el capital natural per cápita disminuyó 13,7%. La pérdida de capital natural ha sido exacerbada por el rápido crecimiento de la población, que ascendió a 10,6% en el mismo período. Ello se tradujo en una tasa de retorno económico del capital natural por persona mucho menor. Considerando que la población está creciendo mucho más rápido que los recursos naturales, Chile debería reinvertir en su capital natural. De ese modo, el país lograría aumentar su Índice de Enriquecimiento Inclusivo per cápita, que creció en tan sólo 7,7% entre los años 1990 y 2014.

Los procesos actuales de producción plantean serias dudas sobre la capacidad de los recursos naturales para satisfacer las necesidades materiales y energéticas de la economía global¹¹. Según McKinsey, en los próximos 20 años podrían emerger hasta tres billones de nuevos consumidores¹². Este aumento en la demanda ocurre en un momento en que extraer nuevos recursos naturales se está haciendo cada vez más caro y complejo, a pesar de los avances en la tecnología¹³.

Existe un gran potencial para abordar esta problemática a través de una mayor productividad de los recursos. Esto implica agregar mayor valor a los recursos, mantener ese valor manteniendo los recursos en uso durante más tiempo y reduciendo los impactos ambientales asociados con el ciclo de vida completo de los recursos, desde su extracción hasta su eliminación. Lograr esto puede: reducir las presiones sobre el suministro de recursos, aumentar la seguridad de los recursos y la resistencia de las sociedades a las interrupciones del suministro y los aumentos y volatilidades de los precios asociados, mejorar la calidad ambiental local y global, y estimular la

¹¹ Ekins, P., Hughes, N., et al. (2017), Resource Efficiency: Potential and Economic Implications. A report of the International Resource Panel, UNEP

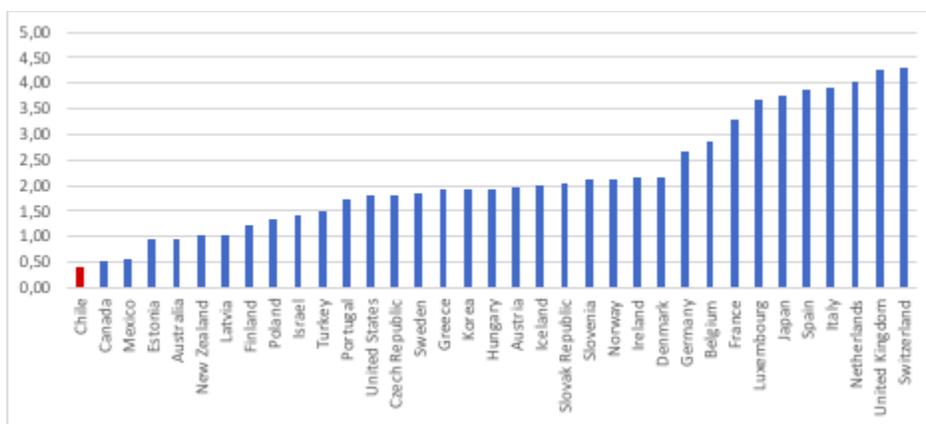
¹² Millones de millones de personas.

¹³ Dobbs et al. (2011), Resource revolution: Meeting the world's energy, materials, food, and water needs, McKinsey Global Institute

innovación, la creación de nuevas industrias y la competitividad económica. Además, será necesaria una mayor eficiencia de los recursos para satisfacer las aspiraciones expresadas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), acordados por las Naciones Unidas en septiembre de 2015, y el Acuerdo de París sobre el cambio climático adoptado en la Conferencia sobre el Clima COP21 en diciembre de 2015.

Chile es uno de los países de la OCDE cuya economía presenta una mayor intensidad en el uso de recursos. Durante 2000-2017, el consumo interno de materiales (CIM)¹⁴ creció un 30,6%, en comparación con un descenso promedio de 12,6% observado en los países de la OECD. Además, nuestro país presenta la menor productividad de los materiales de los países miembros de la OCDE (Gráfico 21). La productividad de los materiales se refiere a la efectividad con la que una economía o un proceso de producción utiliza los materiales extraídos de los recursos naturales. En otras palabras, es un indicador del valor agregado por unidad de material utilizado. Este indicador ha mejorado en tan sólo 4% desde 2008.

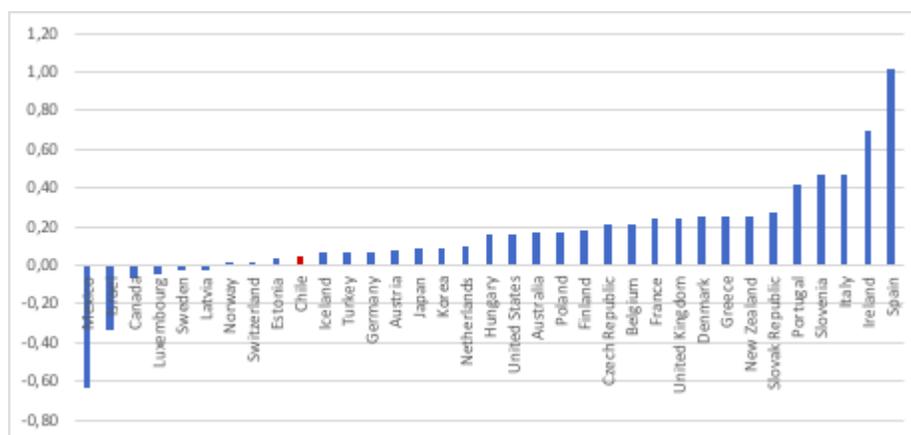
Gráfico 21. Productividad del consumo interno de materiales: PIB por unidad de CIM, 2015.
(En USD por kilogramo)



Fuente: Waste Management and the Circular Economy in Selected OECD Countries - OECD 2019

¹⁴ El Consumo Interno de Materiales se refiere a la cantidad de materiales usados directamente por una economía, que reflejaría el consumo total de materiales. Los recursos naturales incluyen portadores de energía (gas, petróleo, carbón), minerales metálicos y metales, minerales de construcción y otros minerales, suelo y biomasa. Para su estimación, se calcula la cantidad total de materiales extraídos en la economía menos las exportaciones más las importaciones. Estos datos son extraídos de la base de datos de la OECD

Gráfico 22. Cambios en la productividad del consumo interno de materiales, 2008-2015.
(En porcentaje)



Fuente: Waste Management and the Circular Economy in Selected OECD Countries - OECD 2019

Hallazgo 1. Chile es uno de los países de la OCDE cuya economía presenta una menor eficiencia en el uso de recursos. Durante 2000-2017, el consumo interno de materiales creció en un 30,6%. Además, nuestro país presenta la menor productividad de los materiales de los países miembros de la OCDE.

La productividad en el uso de los recursos es uno de los enfoques más relevantes para desacoplar el crecimiento económico del deterioro ambiental, y será vital para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible¹⁵. Alcanzar un desarrollo sostenible no se reduce meramente a una cuestión ambiental, sino se trata de mantener el capital natural y, por tanto, la productividad para sustentar las actividades económicas. El desafío está, entonces, en lograr una mayor eficiencia en los recursos, con el fin de ofrecer una mayor producción por unidad de insumo.

Si continuamos las tendencias actuales de consumo de los recursos, la presión sobre nuestros recursos naturales aumentará debido a una población y una economía creciente. Existe un potencial para abordar estos problemas a través de una mayor productividad de los recursos. La eficiencia de los recursos se traducirá en mejores resultados económicos y mayor bienestar.

1.2. La economía circular como oportunidad de desarrollo

Desde la Revolución Industrial, el sistema productivo se ha basado en lo que se denomina una *economía lineal*. Los productos se diseñan para ser utilizados, consumidos y desechados tras un

¹⁵ Eficiencia de los Recursos para el Desarrollo Sostenible: Mensajes Clave para el Grupo de los 20 (2018), UNEP e IRP

único ciclo de vida. La fabricación de estos productos se basa en grandes cantidades de materias primas y energías baratas y de fácil acceso¹⁶.

Sin embargo, diversos factores indican que el modelo lineal es cada vez más cuestionado. Muchas empresas han empezado a notar su exposición a la volatilidad de los precios de los recursos y su dependencia a la disponibilidad de éstos. La cantidad de residuos generados en los procesos productivos resultan en pérdidas económicas importantes para las empresas productoras. Con todo, la falta de recursos dispuestos en diseñar productos que minimicen el desperdicio de materias primas y la eliminación de residuos, genera constantemente pérdidas de valor a lo largo de la cadena de producción.

En este contexto es que surge el modelo de economía circular, que busca desvincular el desarrollo económico del consumo de recursos finitos. Una economía circular es restaurativa y regenerativa, intentando que productos, componentes y materias primas mantengan su utilidad máxima en todo momento¹⁷. En otras palabras, la vida de un material no termina al ser desechado luego de su consumo, sino que es aprovechado en un nuevo ciclo como materia prima de un nuevo bien. La economía circular se basa en tres principios básicos:

1. Eliminar residuos desde el diseño

La economía circular reduce, desde el diseño, los impactos negativos de aquellas actividades económicas que causan daños sobre los sistemas naturales y la salud del ser humano. Esto incluye la liberación de gases de efecto invernadero y sustancias peligrosas, la contaminación del aire, la tierra y el agua, así como los desechos estructurales.

2. Mantener productos y materiales en uso

Este principio implica favorecer aquellas actividades que preservan el valor en forma de energía, mano de obra y materiales. Esto significa diseñar pensando en la durabilidad, reutilización, refabricación y reciclaje de los productos, de forma de mantenerlos circulando en la economía.

3. Regenerar sistemas naturales

Una economía circular evita el uso de recursos no renovables y preserva, o mejora, los renovables. Por ejemplo, devuelve nutrientes valiosos al suelo para apoyar la regeneración, o utiliza la energía renovable en lugar de depender de combustibles fósiles.

Con todo, una economía circular presentará características distintivas, tales como: eliminar los residuos desde el diseño, valorar la diversidad como motor de versatilidad y resiliencia, utilizar fuentes de energía renovables, aplicar pensamiento sistémico en que distintas partes están fuertemente vinculadas entre sí, incorporar las externalidades negativas en los precios y costos de los productos.

¹⁶ Fundación Ellen MacArthur.

¹⁷ Fundación Ellen MacArthur.

En línea con la evidencia internacional, este informe identifica cuatro motivos generales que sustentan la idea de empujar la gestión de residuos en una economía circular:

- a) **Prevenir la generación de residuos:** Este principio es el primer paso de la cadena de generación de residuos, e implica una reducción significativa de la cantidad de residuos generados en los procesos productivos.
- b) **Mejorar la recuperación de residuos:** Para reciclar y recuperar los recursos es necesario mejorar el acceso a la gestión de residuos, garantizar que exista la infraestructura y regulación necesaria para estos procesos, y asegurar que la recuperación sea rentable. Para ello se deben desarrollar regulaciones y estándares comunes que avancen en esta línea.
- c) **Aumentar el uso de materiales reciclados y generar demanda y mercados para productos reciclados:** Aumentos en la demanda por materiales reciclados impulsará la recuperación de materiales en el país. Para ello es necesario apoyar la recuperación de aquellos materiales críticos, tales como los generados en el sector de la construcción. El sector privado juega un rol fundamental en impulsar soluciones innovadoras, desarrollar nuevos mercados y diseñar productos que presenten oportunidades de reciclaje. El sector público también jugará un rol clave en generar demanda para este tipo de productos y/o soluciones.
- d) **Mejorar la información para apoyar la innovación, guiar la inversión y permitir la toma de decisiones informadas de los consumidores:** Es necesario mejorar la información de los residuos generados en el país; el lugar en que se generan y dónde son dispuestos. Acceder a información de alta calidad será crítico para impulsar las inversiones del sector privado, así como también para desarrollar estrategias que incluyan en el comportamiento de los consumidores.

1.3. La economía circular como motor de productividad

El actual modelo económico ha generado una riqueza sin precedentes en los últimos 100 años. Parte de esta riqueza generada puede atribuirse a la mayor productividad en el uso de los recursos. Sin embargo, existe todavía un potencial importante para generar riqueza y mayor competitividad en los países, por medio de aumentar la productividad de los recursos.

La economía circular permite aumentar la productividad de los recursos, reducir la dependencia en los recursos naturales, controlar la cantidad de residuos generados, y generar mayor crecimiento de la economía. Existe evidencia que una economía circular podría permitir que Europa aumente la productividad de los recursos en hasta un 3% anual¹⁸. Lo anterior se traduciría en 1,8 trillones de Euros adicionales anuales a partir del año 2030. Respecto del escenario base actual para el año 2030, esto corresponde a un aumento del PIB de hasta 7 puntos porcentuales para las economías europeas.

¹⁸ Ellen MacArthur (2015) – Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe

Transitar hacia una economía circular presenta dos grandes beneficios en términos de productividad:

- i) Permitiría **reducir costos en materiales sustantivamente**. Las estimaciones de la Fundación Ellen MacArthur señalan que en la Unión Europea estos ahorros podrían ascender a USD 630 billones anuales.
- ii) **Promueve la innovación** y es una potencial fuente de **creación de empleo**: Diversos estudios han estimado los positivos impactos macroeconómicos de la adopción de una economía circular (ver cuadro 1). En Europa, por ejemplo, se ha estimado que la implementación de una economía circular en las tres cadenas de valor más grandes de la economía, podría genera un aumento del 6,7% del PIB europeo al año 2030. Se ha estimado también que, en los Países Bajos, la implementación de este nuevo modelo económico podría generar un impacto de 7,3 mil millones de euros anuales, además de la creación de 54.000 nuevos empleos. Además, algunas estimaciones realizadas por Cambridge Econometrics y la Comisión Europea sugieren que mejoras de 2 a 2,5% anuales en la productividad en el uso de los recursos naturales, tendrán impactos positivos en el PIB europeo y podrían crear alrededor de 2 millones de empleos.

Hallazgo 2. La economía circular permite aumentar la productividad de los recursos, reducir la dependencia en los recursos naturales, controlar la cantidad de residuos generados, y generar mayor crecimiento de la economía.

Cuadro 2. Impactos macroeconómicos de la adopción de una economía circular

1. La Organización Neerlandesa para la Investigación Científica Aplicada, Oportunidades para una Economía Circular en los Países Bajos (2013)

La Organización Neerlandesa para la Investigación Científica Aplicada exploró las oportunidades y obstáculos presentes en el camino de los Países Bajos hacia una economía más circular, así como también las propuestas de políticas públicas para acelerar el proceso. Se estimó un impacto de 7,3 mil millones de euros anuales y la creación de 54.000 empleos. Considerando los sectores metalúrgicos y eléctricos, el valor actual de la economía circular asciende a 3,3 mil millones de euros, presentando un potencial de crecimiento de 573 millones de euros por año. Una inversión de 4-8 mil millones de euros en tecnología presentaría un valor agregado al mercado de mil millones de euros anuales en las áreas de biorrefinería, biogás y desechos domiciliarios.

2. Fundación Ellen MacArthur, SUN y McKinsey, Growth Within: Una Visión de la Economía Circular para una Europa Competitiva (2015)

La Fundación Ellen MacArthur, junto con McKinsey, elaboraron un informe cuyo objetivo es contribuir con estimaciones cuantitativas a la discusión sobre la economía circular en Europa. Este informe analiza las tres cadenas de valor más grandes de la economía europea, que son además las que presentan un mayor uso de los recursos. Estas cadenas de valor corresponden al sector de movilidad, la industria alimentaria y el sector de la construcción. El informe realiza un análisis comparativo de la situación actual con una situación potencial en que se aplican los principios de la economía circular en las cadenas de valor señaladas. Las estimaciones, que modelan tanto los impactos económicos como ambientales, sugieren que para el año 2030 la implementación de una economía circular podría significar un aumento de 6,7% del PIB europeo y una reducción del 25% de las emisiones de Co2 para el continente.

3. Club de Roma, La economía Circular y sus Beneficios para la Sociedad: El caso de estudio sueco muestra al empleo y el clima como ganadores claros (2015)

Para el caso de Suecia, este estudio estima el impacto de implementar lineamientos de una economía materialmente eficiente y centrada en el rendimiento y la búsqueda de eficiencia energética, en la industria manufacturera. Estas medidas llevarían a la creación de 100.000 empleos, un aumento del 3% del PIB y una reducción de emisiones de CO2 del 70%.

4. Cambridge Econometrics / Bio Intelligence Service / Comisión Europea, Estudio sobre modelamiento de los impactos económicos y ambientales del consumo de materia prima (2014)

Este estudio realizado por Cambridge Econometrics y la Comisión Europea realiza un análisis cuantitativo de diversas medidas que mejoran la productividad en el uso de los recursos para la Unión Europea. De acuerdo a las estimaciones, las mejoras fluctúan entre 1-3% anual. El modelo sugiere que, mejoras de 2 a 2,5% anuales, tendrán impactos positivos en el PIB europeo y podrían crear alrededor de 2 millones de empleos adicionales.

5. WRAP and Green Alliance, Empleo y la economía circular: Creación de empleos en una Bretaña más eficiente en recursos (2015)

De acuerdo a las estimaciones elaboradas por WRAP y la Green Alliance, en el Reino Unido, la economía circular podría crear entre 200.000 y 500.000 empleos. Además, se estima que este modelo económico podría lograr una reducción del desempleo de 50.000 a 100.000 personas, compensando parte importante de la disminución de empleos calificados proyectada para el año 2022.

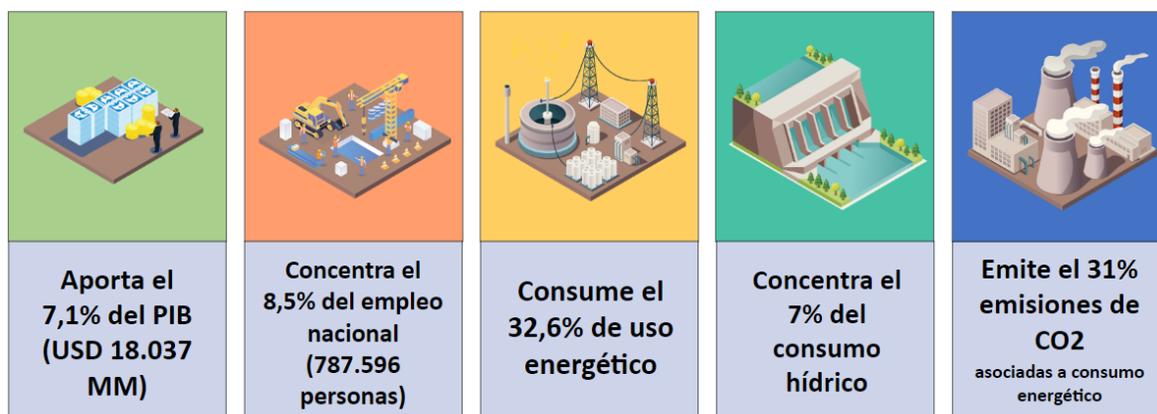
1.4. Una economía circular desde el sector de la construcción en Chile

En Chile, existen diversas oportunidades económicamente atractivas de negocios circulares que permitan reducir, reutilizar o reciclar. La economía circular permitiría promover la innovación y desarrollo del país, fomentando la creación de emprendimientos con modelos de negocio disruptivos y altamente tecnificados. Esto aumentaría la competitividad del país y estimularía el empleo. Así, la adopción de una economía circular podría ser el proyecto de política económica más importante de las próximas décadas.

Para establecer sectores estratégicos desde donde impulsar la economía circular, es fundamental revisar dos dimensiones: el rol del sector en la economía y su potencial de circularidad¹⁹. Aquellos sectores que sean considerados clave para la actividad económica y que además presenten un potencial importante en términos de su circularidad, suelen ser sectores estratégicos para la implementación exitosa de una economía circular.

En Chile, el sector de la construcción desempeña un rol clave en la economía. Este sector da cuenta del 7,1% del PIB y genera un 8,5% de los empleos, según cifras de la Cámara Chilena de la Construcción. Existen en el país cerca de 30 mil empresas relacionadas con el sector que generan unos 700 mil empleos. De ellas, el 98% son pymes, responsables del 81% de los puestos de trabajo y el 34% de la facturación total. Además, la población urbana del país está creciendo rápidamente. Se proyecta que en veinte años más, Chile tendrá dos millones más de habitantes, equivalente a un aumento del 10,6% (INE, 2019)²⁰. Por lo tanto, se estima que el tamaño del sector de la construcción también aumente.

Figura 6. La industria de la construcción de Chile en números



Fuente: Elaboración propia

¹⁹ Metodología sugerida por Fundación Ellen Macarthur.

²⁰ Instituto Nacional de Estadísticas.

Por otra parte, el sector de la construcción presenta un alto potencial en términos de su circularidad. El modelo productivo actual de este sector está basado en una economía lineal, es decir, “tomar, hacer y desechar”. Por lo tanto, presenta una alta dependencia de las materias primas. A nivel global, el sector es el mayor consumidor de recursos, consumiendo cerca del 50% de la producción mundial de acero y 3 millones de toneladas de materias primas anuales²¹. Aproximadamente, el 40% de los materiales a nivel global son usados para la construcción²². El mundo produce más de 400 millones de toneladas de plásticos desechables anualmente, de los cuales el 16% es producido para el sector de la construcción. Los altos niveles de dependencia del sector de la construcción en las materias primas presentan un desafío para la industria, en el marco de una mayor escasez de recursos. De acuerdo a la OECD, el uso de materias primas se duplicará al año 2060, con los mayores aumentos proyectados para el sector de la construcción (OECD, 2018). Se estima que la demanda global de acero aumentará en al menos 1,1% anual hasta 2030, principalmente debido a la demanda de los países emergentes²³. La extracción de áridos para la producción de cementos proviene principalmente de riberas y áreas costeras, aumentando la vulnerabilidad de estos sectores. Finalmente, el sector de la construcción consume materiales de alto valor, y genera volúmenes significativos de residuos que tienen alto potencial de valorización a través de una economía circular.

Dado el significativo aporte del sector de la construcción a la economía del país y su alto potencial de circularidad, es que puede considerarse como un sector estratégico para la implementación de la economía circular en Chile. Los mayores niveles de consciencia de la sociedad por avanzar hacia un crecimiento sostenible, deberían impulsar al sector de la construcción a buscar nuevas forma de usar y reutilizar el stock disponible de recursos materiales. La economía circular consiste en preservar el valor agregado de las cosas existentes, tanto materiales como edificios. Por lo tanto, cuando sea posible, este enfoque prefiere realizar la renovación de los edificios para ahorrar el valor agregado de sus elementos existentes. Para edificios nuevos se espera que, desde el diseño hasta el desmantelamiento, tengan en cuenta la flexibilidad y las posibilidades de reemplazar o rejuvenecer las estructuras, seleccionar materiales circulares o adaptarse a la deconstrucción al final de su vida útil. Finalmente, bajo el enfoque de una economía circular, es fundamental recuperar en el proceso constructivo la vida útil de los residuos procedentes de la construcción y demolición de las edificaciones.

Hallazgo 3. Dado el significativo aporte del sector de la construcción a la economía del país y su alto potencial de circularidad, es que puede considerarse como un sector estratégico para la implementación de la economía circular en Chile.

²¹ World Economic Forum (2016), Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology

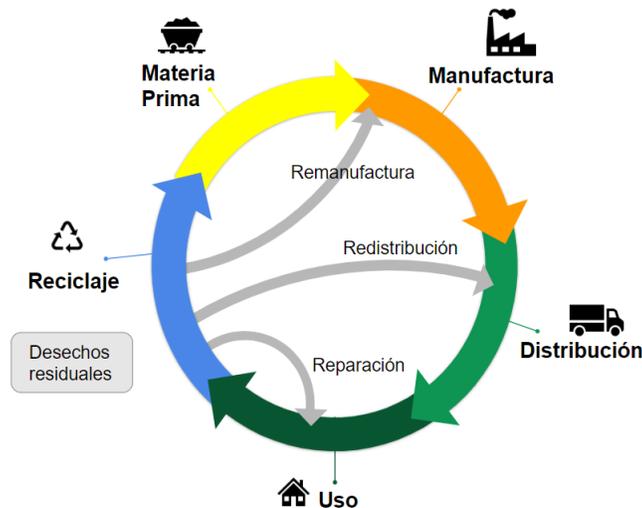
²² World Business Council for Sustainable Development (2018), Scaling the Circular Built Environment: Pathways for business and governments

²³ World Business Council for Sustainable Development (2018), Scaling the Circular Built Environment: Pathways for business and governments

Existen tres dimensiones principales donde se concentran las oportunidades para implementar una economía circular en el sector de la construcción (Figura 2)²⁴:

- a. **Recircular los materiales:** Reciclar materiales de edificios que se encuentren al final de su vida útil, y diseñar y desmantelar edificios de forma tal que sea posible un reciclaje de alto valor.
- b. **Eficiencia en los materiales de construcción:** Reducir la cantidad de materiales que se requieren para construir una superficie determinada. Las mayores oportunidades son reducir los residuos durante el proceso constructivo y reutilizar los componentes de los edificios.
- c. **Modelos de negocios circulares:** Prolongar la vida útil de los edificios para aumentar el tiempo útil de los materiales.

Figura 7. Principios de economía circular en la cadena de valor de la construcción



Fuente: Elaboración propia basado en esquema de Ellen MacArthur Foundation.

Para implementar una economía circular en el sector de la construcción, es necesario comprender los procesos de diseño, ingeniería y manufactura de los productos. Luego, se deben buscar oportunidades de mejoras en la eficiencia del uso de los recursos, a través de la reutilización, remanufactura o reciclaje. Finalmente, se debe analizar el potencial de automatizar algunos procesos, con el fin de optimizar el uso de recursos y buscar nuevos modelos de negocio basados en la tecnología disponible.

²⁴ Material Economics (2018), The Circular Economy - a Powerful Force for Climate Mitigation. Para mayores detalles sobre iniciativas que permitirían mejorar la circularidad en el sector de la construcción, véase Anexo 2.

En Chile, la infraestructura actual no ha sido diseñada desde la perspectiva de la economía circular, por lo que no ha sido construida para que al fin de su vida útil ésta pueda ser desmantelada y reutilizada. Un enfoque circular en el sector de la construcción implica construir pensando en el futuro. Por lo tanto, la innovación será una herramienta clave para que el sector logre una transición exitosa hacia la economía circular. Sólo ello permitirá reducir los residuos, diseñar desde el origen de forma ecológica, utilizar materiales reciclados y mejorar el rendimientos de las construcciones.

2. Circularidad del sector de la construcción en Chile

Una de las principales consecuencias del actual modelo de producción en el sector de la construcción son los elevados niveles de residuos generados en el proceso de construcción y demolición. En el mundo, los residuos de la construcción dan cuenta de aproximadamente la mitad de los residuos sólidos totales generados anualmente²⁵. La adopción de una economía circular permitiría reducir la cantidad de residuos generados por el sector, ya sea a través de diseños que permitan extender la vida útil de los materiales, de procesos constructivos que generen una menor cantidad de desechos, o a través de una gestión adecuada de los residuos de la construcción.

El actual ciclo de desarrollo de una obra de construcción genera pérdidas de valor y externalidades en cada etapa. El cliente final pocas veces considera, dentro de su inversión, el valor residual de las edificaciones al final de su vida útil. El diseño de las estructuras tendrá un efecto significativo en la cantidad de residuos que se generarán las construcciones. Por ejemplo, una vez que los componentes de una edificación están contruidos, éstos no siempre pueden ser desarmados para ser posteriormente reutilizados. Por su parte, las empresas constructoras suelen usar materiales vírgenes en vez de materiales reciclados, generando una mayor cantidad de residuos en cada una de las obras.

Las externalidades que resultan de las decisiones en cada una de las etapas del ciclo de vida de las obras, tienen implicancias en la capacidad de recuperación de los materiales y en la extensión del ciclo de vida útil de las edificaciones. Para reducir estas ineficiencias, cada actor de la cadena de valor debe tener claridad sobre el rol que juega su producto en la generación de residuos, de forma de alcanzar una mayor creación de valor en el ciclo de vida completo. Por lo tanto, la colaboración entre los distintos actores de la cadena de valor será clave para introducir modelos de negocios circulares en el sector de la construcción.

A continuación, se presentará un análisis de la cantidad de residuos generados por el sector de la construcción en Chile, y la gestión vinculada a éstos. Este análisis permitirá dar luces sobre la cantidad de residuos generados por el sector, el potencial de reciclaje de los materiales utilizados, y los niveles de valorización de éstos. Posteriormente, se presentarán algunos hallazgos sobre el impacto que puede tener la industrialización del sector de la construcción en una economía circular en Chile.

2.1. Residuos de la Construcción y Demolición

Los residuos de construcción y demolición son residuos provenientes de la construcción de nuevos proyectos, rehabilitación, reparación y reacondicionamiento de obras existentes, de los procesos de preparación de terrenos y de la demolición de obras que han perdido su valor de uso o demoliciones que se generan por situación de catástrofe²⁶. Este tipo de residuos no sólo contaminan el suelo y el agua, sino también intensifican el cambio climático al aumentar las emisiones de gases

²⁵ Construction and Demolition Recycling.

²⁶ Definición extraída de la Norma Chilena 3562 de 2019.

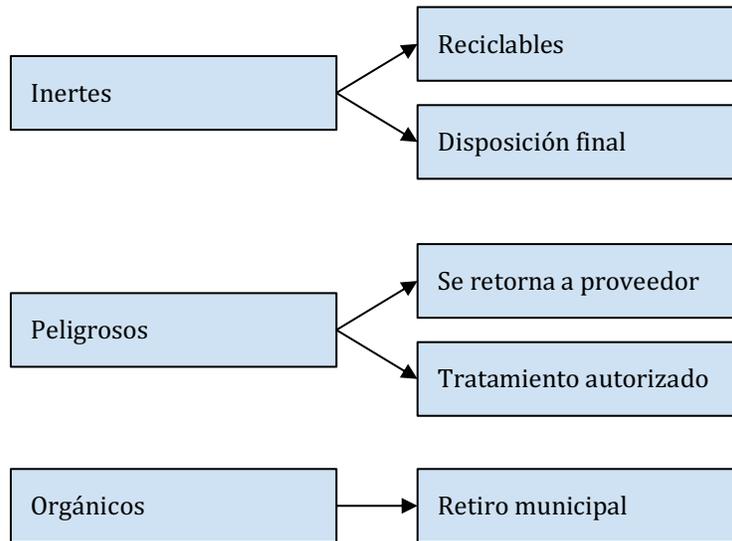
de efecto invernadero. Sin embargo, los residuos de la construcción implicarán también pérdidas importantes para las empresas constructoras, en términos de la pérdida de materiales. Los residuos generados en una obra son materiales que fueron comprados por la empresa, transportados al lugar de la obra, y luego transportados a un sitio de disposición final. La generación de residuos de la construcción afecta, entonces, la productividad de la empresa. Por lo tanto, la cantidad de residuos sólidos generados por las empresas constructoras puede ser considerada como un indicador de productividad del proceso constructivo.

Actualmente, los residuos de la construcción pueden ser clasificados en tres categorías: residuos sólidos industriales no peligrosos, residuos sólidos industriales peligrosos y residuos orgánicos (Figura 6). Los residuos industriales son todos aquellos provenientes de procesos industriales y que por sus características físicas, químicas o microbiológicas no pueden asimilarse a residuos domésticos. Los residuos inertes no presentan efectos sobre el medio ambiente, debido a que su composición de elementos contaminantes es mínima. Para el caso de la construcción, los residuos inertes están básicamente compuestos por: tierras y áridos, piedras, restos de hormigón, restos de pavimentos asfálticos, materiales refractarios, ladrillos, vidrios, plásticos, yesos, acero, cobre, y maderas²⁷. Estos residuos son acumulados en contenedores adecuados, para ser transportados a vertederos autorizados. En algunos casos, y según lo determine la empresa constructora, estos residuos pueden ser valorizados y reciclados.

Por otra parte, los residuos industriales peligrosos aquellos que presentan riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, por presentar algún nivel de toxicidad, inflamabilidad, reactividad o corrosividad. Estos residuos no son valorizables y deben ser enviados a vertederos autorizados para este fin, servicio que muchas veces es realizado por el mismo proveedor. Finalmente, los residuos orgánicos están compuestos por materias derivadas de vegetales, animales y comestibles, los cuales se descomponen con facilidad y vuelven a la tierra. Éstos deben ser retirados por los servicios municipales, en algunos casos con pago por este servicio.

²⁷ El reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos, define que los residuos sólidos no peligrosos son: residuos de metales y residuos que contengan metales; residuos que contengan principalmente constituyentes inorgánicos, que a su vez puedan contener metales y materiales orgánicos; residuos que contengan principalmente constituyentes orgánicos, que pueden contener metales y materiales inorgánicos; residuos que puedan contener componentes inorgánicos u orgánicos.

Figura 6. Tipos de residuos de la construcción



Fuente: Elaboración propia

Hallazgo 4. Hasta septiembre de 2019, los residuos de la construcción eran residuos industriales. La Norma NCh3562 define un protocolo sobre la gestión de residuos de la construcción.

2.2. Volumen de residuos generados en el sector de la construcción

Actualmente, la única fuente oficial que contiene datos sobre la cantidad de residuos sólidos no peligrosos generados por el sector de la construcción es el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). El RETC es el sistema donde deben declarar los residuos no peligrosos todos aquellos establecimientos que generen, anualmente, más de 12 toneladas de residuos no sometidos a reglamentos específicos²⁸. De acuerdo a dicho registro, en 2018 el sector de la construcción habría generado 650.760 toneladas de residuos sólidos no peligrosos²⁹. Ello daría cuenta del 6,4% del total de los residuos sólidos industriales no peligrosos generados durante el año, que habrían ascendido a 10,2 millones de toneladas en 2018.

Sin embargo, las cifras reportadas por las empresas constructoras en el RETC se alejan de las estimaciones previas respecto de la participación del sector en la cantidad total de residuos

²⁸ La declaración de estos residuos está regulada por el artículo 26 del D.S. N° 1/2013 del Ministerio de Medio Ambiente.

²⁹ El sector de construcción considera el ítem CIU4 denominado “Construcción de edificios completos o de partes de edificios”, que corresponde a la única categoría del rubro Construcción, según la clasificación de actividades económicas del SII.

sólidos industriales generados en el país. Hasta el año 2009, el sector de la construcción se observaba como el mayor generador de residuos sólidos industriales, dando cuenta de un 34% del total de residuos generados (CONAMA, 2010). Durante dicho año, el sector de la construcción produjo un total de 5,82 millones de toneladas, lo que significó un incremento del 72% desde el año 2000 (Tabla 1). Por lo tanto, las cifras del RETC podrían estar subestimando sustantivamente la cantidad de residuos sólidos generados por el sector.

La diferencia entre la cifras reportadas en el RETC y las estimaciones elaboradas en dicho informe dan cuenta de la baja reportabilidad de los residuos de la construcción por parte de las empresas constructoras. Bajo el supuesto que las empresas constructoras mantuvieron el nivel de residuos estimados por CONAMA en 2009, los residuos sólidos no peligrosos reportados por las empresas constructoras en el RETC darían cuenta de un 11% de esta cantidad³⁰. Esto se encuentra en línea con la encuesta elaborada por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción, donde se observó que sólo el 50% de las empresas constructoras encuestadas utilizaban la plataforma SINADER (correspondiente al sistema de declaración web del RETC).

Tabla 6. Generación de residuos sólidos industriales por sector industrial, 2009.

Sector industrial	Generación de Residuos Sólidos Industriales (millones de toneladas)	Participación en el total (en porcentaje)
Construcción	5,82	56%
Industria Manufacturera	1,83	18%
Agrícola y forestal	1,56	15%
Minería y cantera	0,63	6%
Producción de energía	0,47	5%
Purificación y distribución de agua	0,08	1%

Fuente: CONAMA, 2010.

En la medida que las empresas constructoras no midan la cantidad de residuos generados en obra, no se podrá mejorar la gestión de éstos. Contar con información confiable respecto de la generación de residuos en obra es un requisito básico para elaborar estrategias efectivas de gestión de residuos. Sin embargo, la encuesta elaborada por la CDT señala que sólo el 50% de las empresas cuentan con un procedimiento de gestión de residuos, y que el 68% de las empresas tiene como encargado principal de una correcta gestión de residuos al Prevencionista de Riesgo.

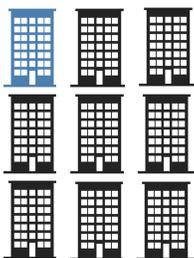
³⁰ Este es un supuesto conservador, por cuanto es esperable que la cantidad de residuos sólidos no peligrosos generados por el sector de la construcción haya aumentado entre los años 2009 y 2018, tal como lo hizo entre los años 2000 y 2009; donde hubo un aumento del 72% de los residuos generados por el sector.

Tanto a nivel internacional como nacional, se ha buscado elaborar factores que permitan estimar el volumen de residuos de construcción y demolición generados por área construida, en distintos tipos de obras. En Chile, existen algunas experiencias de mediciones, tanto privadas como públicas y académicas, que indican que se generarían en promedio 0,26m³ de residuos por cada metro cuadrado construido³¹. Es decir, por cada 3,85 m² construidos, se generaría 1 m³ de residuos³².

Durante el año 2019 se realizó, desde la Secretaría Ejecutiva de Construcción Sustentable del MINVU, el levantamiento de un indicador de generación de residuos en obra a nivel nacional³³. El indicador de generación de residuos en obras de construcción ejecutadas por contratistas MINVU varía según el tipo de obras, pero arroja como resultado un promedio de 0,23 m³ por cada metro cuadrado construido, para todo tipo de obra. Este valor es similar al obtenido con los datos de las obras con certificado de recepción final que además registraron el volúmen de RCD en RETC, que ascendió a 0,25 m³ por metro cuadrado construido.

Para efectos de este informe, se levantó información de 30 obras en construcción en la región metropolitana. Estas obras corresponden a edificaciones residenciales en altura, de un promedio de 12 pisos. La información entregada por las obras sujetas a estudio permite estimar un indicador del volumen de residuos generados en obra por cada metro cuadrado construido. Según las estimaciones, en promedio, una edificación residencial en altura generaría 0,26m³ de residuos por cada metro cuadrado construido; indicador que coincide con aquel reportado por el Ministerio de Vivienda. En otras palabras, **por cada nueve pisos construidos de un edificio residencial, se genera un piso completo de residuos de la construcción (Figura 8)**³⁴.

Figura 8. Generación de residuos de la construcción en edificios residenciales



En la construcción de un edificio residencial en altura, por cada nueve pisos construidos se genera un piso completo de residuos de la construcción.

Al aplicar los indicadores de residuos obtenidos este informe (para el caso de edificios residenciales) y en los informes del Ministerio de Vivienda (para el caso de casas), a la cantidad de metros

³¹ Estimaciones propias en base a información entregada por Comisión Nacional de Productividad.

³² Este indicador se generó con datos estimativos y declarativos de obras particulares, por lo que variarán significativamente entre constructoras y según obra.

³³ Informe Diagnóstico sobre Infraestructura RCD en Chile, Cap. 3, MINVU 2019

³⁴ Para estas estimaciones se supone una altura promedio de 2,3 metros por piso.

cuadrados construidos por cada tipo de edificación, es posible estimar la cantidad total de residuos de la construcción generados anualmente³⁵. Las estimaciones se presentan en la tabla 2³⁶.

En un escenario conservador, la generación de residuos de la construcción durante el año 2018 habría alcanzado un volumen de 4.822.361 metros cúbicos, considerando únicamente edificaciones residenciales y no residenciales³⁷. **Este volúmen de residuos equivale aproximadamente a seis rascacielos como la Gran Torre Santiago (torre más alta del complejo Costanera Center)**. A su vez, esto es equivalente a más de 6,8 millones de toneladas anuales, lo que se aleja de las cifras reportadas por las empresas constructoras en el RETC, que ascienden sólo a 651 mil toneladas anuales³⁸. Finalmente, al estimar la cantidad de residuos de la construcción generados en Chile per cápita, se obtiene que por cada chileno se generaría un total de 365 kilos de este tipo de residuos anualmente³⁹.

Tabla 7. Estimación de residuos de la construcción generados, según tipo de obra.

Tipo de Obra		Superficie (m2)	Indicador	Residuos (m3)
Obra Nueva	Casa Aislada	4.075.781	0,21	855.914
	Casa Pareada	1.211.721	0,33	399.868
	Edificio o bloque único	7.065.583	0,26	1.837.052
Ampliación	Casa Pareada	418.167	0,27	112.905
	Casa Aislada	665.095	0,17	113.066
Superficie No Vivienda ⁴⁰		5.782.907	0,26	1.503.556
Total		19.219.254		4.822.361

La información respecto a la superficie construida corresponde a los permisos de edificación aprobados durante 2018 por las Direcciones de Obra Municipal.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos INE y Observatorio Urbano.

³⁵ La información del Ministerio de Vivienda corresponde a residuos de la construcción generados en viviendas públicas, que cumplen estándares distintos de las viviendas privadas. Sin embargo, como estimación conservadora, se puede aplicar este indicador de generación de residuos a todas las viviendas aprobadas anualmente.

³⁶ Para efectos de desagregar las casas según agregación de las viviendas, se utiliza información de la base de datos de Permisos de Edificación del INE.

³⁷ Esto excluye la construcción de infraestructura pública. Se considera un escenario conservador dado que el indicador utilizado para la construcción de casas es aquel reportado por el Ministerio de Vivienda que, como se mencionó, corresponde a viviendas públicas que cumplen estándares distintos de las viviendas privadas. Dadas las características de construcción de las viviendas privadas, es de esperar que éstas tengan indicadores de generación de residuos más elevados que las viviendas públicas.

³⁸ Bajo el supuesto que 1 metro cúbico de residuos inertes corresponde a 1,42 toneladas.

³⁹ Estas estimaciones consideran la población del país reportada por el INE durante el año 2018.

⁴⁰ El indicador para las edificaciones no residenciales corresponde a 0,26 m3/m2; cifra obtenida de las estimaciones elaboradas por la Cámara Chilena de la Construcción.

Hallazgo 5. Los procesos de construcción actuales generan gran cantidad de residuos y un alto volumen de escombros de la construcción⁴¹. Durante el año 2018, los residuos de la construcción habrían alcanzado un volúmen de 4.822.361 metros cúbicos, equivalentes a más de 6,8 millones de toneladas anuales.

Hallazgo 6. La declaración de residuos sólidos no peligrosos de las empresas constructoras en el RETC corresponderían al 9,5% del total de residuos generados por las empresas constructoras.

Del total de residuos de la construcción, la mayor parte la habrían generado los edificios residenciales, dando cuenta de alrededor del 38% del total de los residuos estimados. Ello se debería principalmente a la cantidad de metros cuadrados construidos de este tipo de edificaciones, que dan cuenta de la mayor parte de las viviendas del país. Además, los permisos de edificación no regulan la cantidad de residuos generados por las obras de construcción, ni incentivan una reducción de éstos. De hecho, no existe un estándar común para la gestión de residuos a través de las distintas municipalidades del país, sino que proviene de ordenanzas locales. Así, la regulación de residuos de la construcción dependerá de las políticas implementadas en cada uno de los municipios, sin existir siquiera un sistema en línea común donde poder informar sobre este tipo de trámites.

Finalmente, cabe destacar que los residuos estimados corresponden únicamente a aquellos generados en obras de construcción de edificaciones residenciales y no residenciales, excluyendo todas las obras de infraestructura construidas en el país. Es de esperar que las obras de infraestructura generen igual o mayor cantidad de residuos en su proceso constructivo, dadas las magnitudes de los proyectos involucrados. Por ejemplo, en Chile, existen más de 20.000 kms de red vial pavimentada en asfalto u hormigón. Sólo en el año 2017 se ejecutaron un total de 362 km lineales de obras de pavimentación, reposición o reconstrucción⁴². Este tipo de obras generan grandes cantidades de residuos sólidos, siendo particularmente contaminantes las reposiciones de caminos, donde por defecto se extrae todo el material de las carpetas a reponer para reemplazarlo por material nuevo. En las bases de licitación del Ministerio de Obras Públicas no existen incentivos para la reutilización del material existente, por lo que los adjudicatarios de los proyectos no suelen utilizar materiales reciclados en sus obras. Muchas veces, estos materiales presentan costos más elevados o no existen proveedores suficientes para poder realizar una cotización que se ajuste a los estándares establecidos por el Ministerio de Obras Públicas. Así, el uso de materiales reciclados en

⁴¹ Los escombros corresponden a todos aquellos residuos de la construcción que no son valorizados.

⁴² Dimensionamiento y Características de la Red Vial Nacional, Ministerio de Obras Públicas.

las obras de vialidad es poco frecuente, generando elevados niveles de residuos en las obras de construcción.

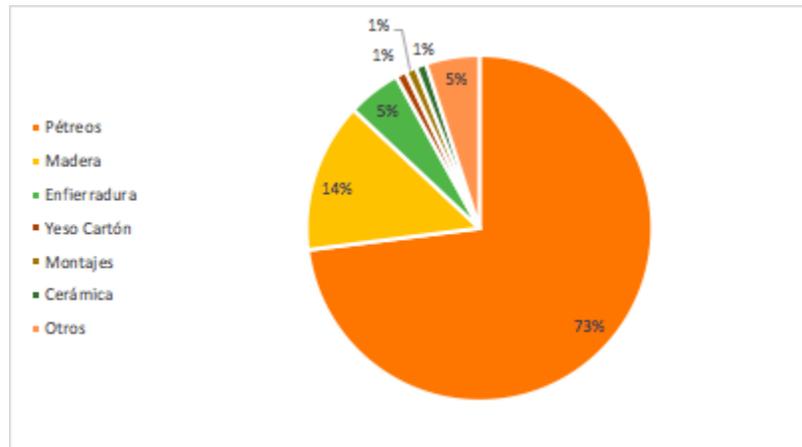
En Chile, las obras de infraestructura vial tienen como guía el Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad. Este documento unifica los aspectos técnicos relativos a los criterios, procedimientos, especificaciones y metodologías de un proyecto vial y que guardan relación con las diversas fases que conforman el ciclo de vida de un proyecto. Actualmente, el Ministerio de Obras Públicas se encuentra en proceso de modificación del Manual de Carreteras, con el objetivo de incorporar un capítulo de Evaluación de Sustentabilidad en obras viales. En este capítulo se introducen criterios de sustentabilidad, lo que implica desarrollar proyectos viales con un enfoque integral. Esta Evaluación utiliza una metodología especialmente diseñada para obras en Chile, y pretende evaluar el nivel de sustentabilidad de las obras en cada una de las etapas del ciclo de vida.

Hallazgo 7. No existe información sobre la cantidad de residuos generados por las obras viales construidas en Chile. Sin embargo, las bases de licitación de proyectos de vialidad del Ministerio de Obras Públicas no incorporan criterios de circularidad, por lo que los licitantes no tendrán incentivos a reducir la cantidad de residuos generados en obra.

2.3. Caracterización de los residuos de la construcción

En las obras de construcción se generan residuos de materiales que no se reutilizan y que, por lo tanto, deben ser retirados de las obras como desechos. A nivel nacional, no existe la obligación de separar o caracterizar los residuos generados en las obras de construcción, por lo que no hay información agregada de la composición de dichos residuos. Las empresas constructoras pueden solicitar el traslado de sus residuos sin clasificarlos para su reciclaje o valorización, por lo que muchas de ellas no cuentan con información sobre el tipo de residuos que están generando en las obras. Sin embargo, algunas empresas que hacen gestión de residuos y los separan en obra, han logrado caracterizar los residuos que generan en su proceso constructivo. En general, alrededor del 70% de estos residuos correspondería a áridos o pétreos. Por lo tanto, los residuos de la construcción estarían principalmente compuestos de materiales inertes que tienen un alto potencial de reciclaje. La diferencia dependerá del tipo de construcción y la materialidad utilizada en las terminaciones (Gráfico 23).

Gráfico 23. Composición de los residuos de la construcción de la obra Pacific Blue, Constructora Viconsá.



Fuente: Información entregada por la Empresa Viconsá.

La composición de los residuos generados en una obra variará dependiendo de los materiales utilizados en ésta. Como se mencionó en la sección anterior, el hormigón es el material más utilizado en las obras de construcción en Chile. Sólo el año 2019 se despacharon más de 8,7 millones de metros cúbicos de hormigón, lo que corresponde a un aumento de 4,2% respecto del año anterior⁴³. Su uso masivo se debe principalmente a su resistencia y durabilidad, además de costos relativamente bajos, ya que se confecciona con materias primas abundantes en casi todo el mundo. Normalmente, el hormigón se elabora con 75% de áridos, 14% de agua, 10% de cemento y 1% de aire. Sin embargo, este material genera grandes cantidades de desechos. Algunas estimaciones indican que el hormigón es el material que genera la mayor cantidad de residuos en la obra gruesa, dando cuenta de un 90,4% de éstos⁴⁴. Por lo general, los residuos derivados del hormigón son aquellos denominados pétreos o áridos.

Los residuos pétreos o áridos son materiales granulares inertes formados por fragmentos de roca o arenas utilizados en la construcción y en numerosas aplicaciones industriales. Con ellos se elabora grava, gravilla, fino y arena, entre otros. Por lo tanto, si se considera que un 70% de los residuos de la construcción son áridos o pétreos, entonces se estarían desperdiciando alrededor de 3,4 millones de metros cúbicos de este material cada año. Dados los elevados niveles de demanda por hormigón en nuestro país, este desecho genera grandes impactos económicos y medioambientales. De hecho, considerando que el precio del metro cúbico de árido ronda los

⁴³ Índice de despacho de Hormigón, Cámara Chilena de la Construcción.

⁴⁴ De acuerdo a Ossio (2018), la gran mayoría de los residuos esperados en una obra de construcción serían generados en la etapa de terminaciones, donde la tabiquería es lo que generaría la mayor cantidad de residuos. Esto último obedece a que los tabiques engloban una gran cantidad de recursos que necesariamente deben ser reducidos en obra al momento de su colocación. Se concluye que el 78% de los residuos esperados en la obra serían generados en la etapa de terminaciones.

\$15.000, las empresas constructoras gastarían \$50.600 millones al año en áridos que son desperdiciados como residuos. Esto equivale a USD 60 millones al año⁴⁵.

Los impactos económicos de generar residuos sólidos no peligrosos en una obra de construcción se encuentran, principalmente, en el valor del material involucrado y su precio unitario. El material que es desechado fue comprado por la empresa y, por lo tanto, su pérdida implica un costo económico innecesario. De hecho, se ha estimado que el 87% del costo total de los residuos de la construcción de una obra correspondería al costo del material involucrado⁴⁶. La diferencia correspondería al transporte y disposición final de éstos.

Hallazgo 8. A nivel nacional, no existe la obligación de separar o caracterizar los residuos generados en las obras de construcción, por lo que no hay información agregada de la composición de dichos residuos. Sin embargo, se estima que la gran mayoría de los residuos generados corresponde a áridos o pétreos; materia prima fundamental para la elaboración de hormigón.

Hallazgo 9. Si se considera que un 70% de los residuos de la construcción son áridos o pétreos, entonces se estarían desperdiciando alrededor de 3,4 millones de metros cúbicos de este material cada año. Esto implica que las empresas constructoras gastarían, al año, \$50.600 millones en áridos que son desperdiciados como residuos.

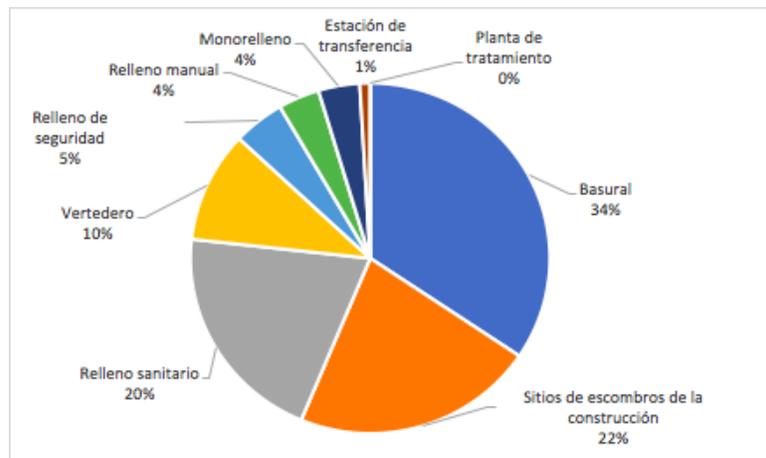
2.4. Transporte y disposición final de los residuos de la construcción

Uno de los principales desafíos de la gestión de residuos de la construcción en nuestro país dice relación con la infraestructura para atender las demandas de disposición final de éstos. En 2019, el Ministerio de Vivienda logró identificar 215 sitios de disposición final que recibieron residuos de la construcción y demolición a lo largo del territorio nacional. Los sitios identificados no corresponden necesariamente a sitios autorizados para recibir residuos de la construcción. Alrededor del 80% de los sitios identificados no cuentan con la autorización para recibir escombros de la construcción. Es decir, parte importante de los residuos de la construcción está siendo dispuesta en sitios de disposición final que no cumplen con los requisitos o la normativa que regula dichos residuos. Adicionalmente, se observa que un volumen no menor de los residuos de la construcción fueron dispuestos en basurales o rellenos sanitarios (Gráfico 24).

⁴⁵ Se utiliza un tipo de cambio de \$850.

⁴⁶ Ossio (2018), Cuantificación Económica de los Residuos de Construcción de una Edificación en Altura: Un Caso de Estudio.

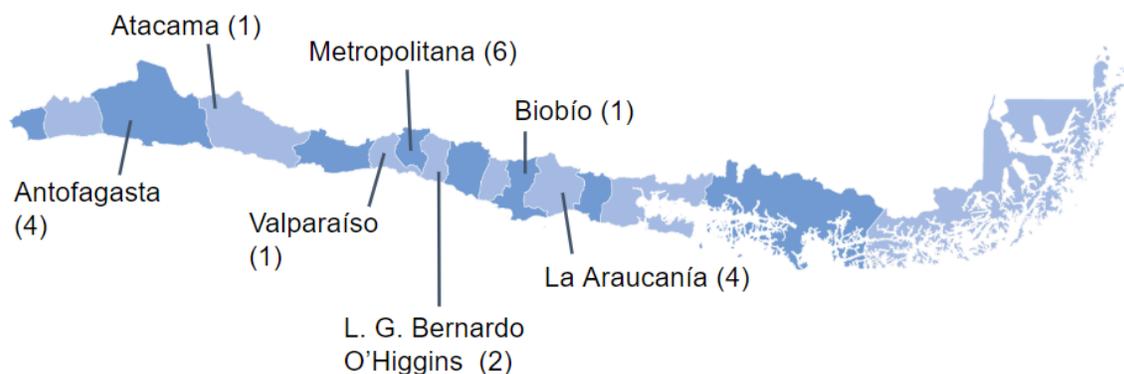
Gráfico 24. Sitios de disposición final de residuos donde se receptionan residuos de la construcción



Fuente: Elaboración propia a partir de información de MINVU⁴⁷

A nivel nacional, se logró identificar un total de 47 sitios de disposición de escombros de la construcción, distribuidos en 12 de las 16 regiones del país. Sin embargo, de estos sitios sólo el 40% se encuentra regulado por un instrumento regulatorio identificable. Así, existirían tan sólo 19 sitios autorizados para la disposición final de residuos de la construcción regulados en el país, distribuidos en 7 regiones del país. Nueve regiones de Chile no tendrían acceso a sitios de escombros de la construcción regulados (Figura 6). Lo anterior no contempla los basurales de carácter ilegal, que se estima ascienden a 73 grandes basurales y 800 microbasurales, sólo en la región metropolitana⁴⁸.

Figura 9. Número de sitios de escombros de la construcción regulados, según región, 2019



Fuente: MINVU, 2019.

⁴⁷ Estudio "Diagnóstico sobre Infraestructura RCD en Chile", Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2019)

⁴⁸ Catastro del Ministerio de Medio Ambiente (2017)

Hallazgo 10. Chile no cuenta con la infraestructura necesaria para atender el volumen de residuos de la construcción generados en todas las zonas urbanas del país. Sólo siete regiones del país contarían con sitios de disposición final de residuos de la construcción regulados, por lo que nueve regiones no tendrían acceso a este tipo de infraestructura.

Como se desprende de la regulación analizada, los sitios de disposición final de residuos de la construcción no tienen la obligación de hacer un control cuantitativo de los residuos recibidos, por lo que no es posible hacer un seguimiento de éstos. Además, como las empresas constructoras no tienen la obligación de separar los residuos generados según su materialidad, tampoco se conoce el contenido de estos escombros. La única obligación en esta materia está asociada a ciertas certificaciones de construcción sustentable, como la certificación LEED; donde las empresas constructoras deben declarar el volumen de residuos por materialidad. Sin embargo, este servicio suele tener un costo adicional para la constructora, por lo que muchas de ellas optan por evitarlo.

De acuerdo a información aportada por la empresa REGEMAC S.A⁴⁹, la cantidad total de escombros recibidos durante los últimos dos años en uno de los dos sitios autorizados de disposición final de la empresa, ascendió a 573.703 metros cúbicos⁵⁰. De éstos, se estima que un 86% eran materiales inertes; un 10% tierra o esarpes; y un 3% era madera (Gráfico 25)⁵¹. Así, el volumen compactado finalmente fue de 298.326 metros cúbicos, ya que materiales como la madera, metales, plásticos y cartón fueron recolectados para su reciclaje⁵².

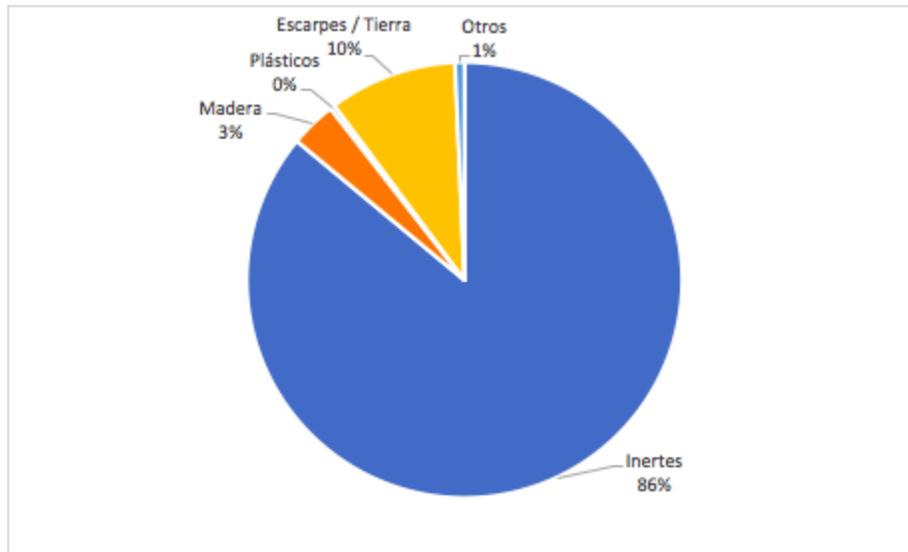
⁴⁹ REGEMAC S.A es una empresa nacida del convenio de Producción Limpia Región Metropolitana en la Comisión de Medio Ambiente de la Cámara Chilena de la Construcción, en acuerdo con la Seremi de Salud, contando con el apoyo de CORFO en su formación y puesta en marcha. Desde el año 2001, la empresa realiza el retiro de escombros ("Residuos Inertes"), contando para ello con 2 de los 7 lugares autorizados por la Seremi de Salud para la disposición de los residuos inertes recolectados, los cuales son proyectos de recuperación de suelo en beneficio con la comunidad.

⁵⁰ Datos entre agosto de 2017 y agosto de 2019.

⁵¹ Esta es una estimación que realiza la empresa REGEMAC S.A por cubicación, y en ningún caso representa una información oficial.

⁵² En el caso de la empresa REGEMAC S.A, esta separación se hace por recolectores que extraen los materiales valorizables, para luego venderlos en el mercado de materiales reciclados.

Gráfico 25. Composición de residuos de la construcción recibidos por REGEMAC S.A entre 2017-2019.



Fuente: Elaboración propia a partir de información aportada por REGEMAC.

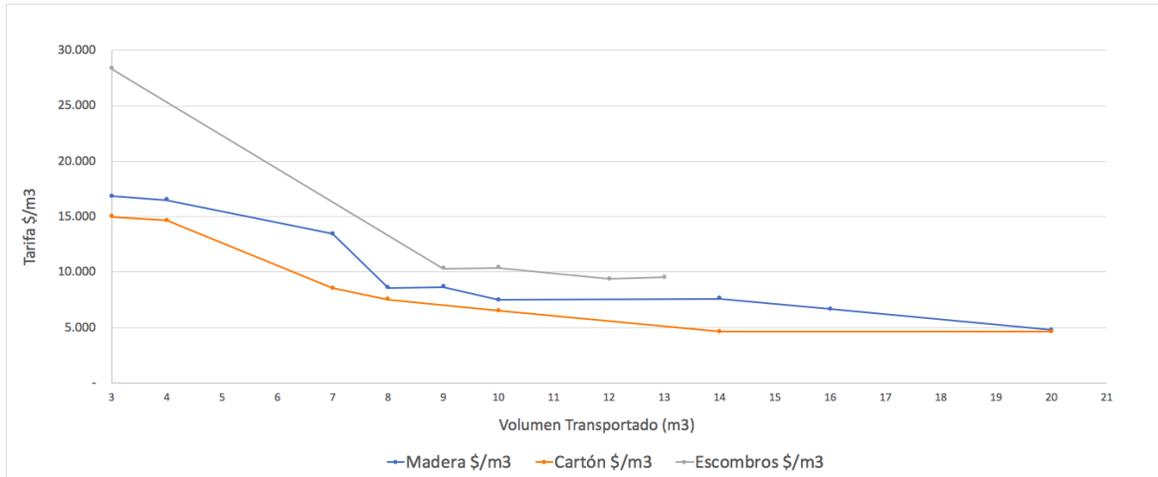
El servicio de transporte de los residuos generados en la construcción a los sitios de disposición final es realizado por transportistas privados. Este es un servicio altamente informal, y no existe un catastro público de los transportistas autorizados por la Seremi de Salud (una excepción es el catastro generado por RECYLINK, empresa privada que conecta constructoras con recicladores, transportistas y lugares de disposición final autorizados⁵³). Por lo tanto, al momento de contratar dicho servicio, las empresas constructoras deben realizar sus propias cotizaciones utilizando información a la que puedan acceder por sus propios medios. En algunos casos, por descuido o desconocimiento, son contratados los servicios de empresas de transporte de residuos de la construcción que no están autorizadas y que no cuentan con el debido control. En estos casos, los transportistas no podrán declarar los residuos en la ventanilla única del Ministerio de Medio Ambiente, dificultando aún más la trazabilidad de estos residuos.

Respecto al cobro de los servicios de transporte de residuos de la construcción, la empresa constructora pagará al transportista privado tanto por el transporte como por la disposición final de los residuos generados en las obras. En general, el cobro se hace por viaje, y su valor dependerá de la cantidad de metros cúbicos de escombros transportados y de la distancia al sitio de disposición final. Sin embargo, el factor común es que existen importantes economías de escala en el transporte y disposición final de los residuos de la construcción. El costo por metro cúbico de residuos trasladados a un sitio de disposición final disminuye significativamente en la medida que el volumen transportado es mayor. Se observa que, en promedio, el precio por metro cúbico de madera

⁵³ Además, la plataforma de Recylink permite generar una trazabilidad de los residuos, según tipo de residuo, entregando estadísticas de los ahorros, generación de residuos e impacto ambiental de cada constructora.

transportada en camiones de al menos 9 m³ es 48% más barato que el precio de transportarla en camiones de menor volúmen (Gráfico 26).

Gráfico 26. Tarifas promedio del transporte y tratamiento de residuos de la construcción (\$/m³)



Fuente: Elaboración propia a partir de información de recolecciones de escombros, madera y cartón realizadas por transportistas a través de la plataforma Recylink.

Las economías de escala presentes en el retiro de los residuos de la construcción no siempre pueden ser aprovechadas por las empresas constructoras. Una de las principales barreras para implementar un manejo adecuado de los residuos de construcción dentro de los proyectos es la falta de espacio en las obras⁵⁴. Dado que cada obra debe contratar el retiro de sus propios residuos de la construcción, la acumulación de volúmenes más altos puede resultar complejo. En consecuencia, la velocidad de retiro de los escombros en las obras se vuelve un aspecto clave para las constructoras.

Los precios finales del transporte y disposición final de los residuos de la construcción variarán entre constructoras, dependiendo del acuerdo al que llegue con la empresa que presta el servicio de transporte de residuos de la construcción. Sin embargo, se estima que, para obras construidas en la Región Metropolitana, esta tarifa se encontraría alrededor de los \$10.500 por metro cúbico⁵⁵. Este valor se encuentra muy por debajo de los valores cobrados en países donde se han aplicado políticas exitosas para la reducción de los escombros de la construcción (Cuadro 2 y Gráfico 8).

⁵⁴ Encuesta realizada por la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción, en el marco del diagnóstico de Acuerdo de Producción Limpia para Residuos de la Construcción.

⁵⁵ Estimaciones propias elaboradas a partir de 339 recolecciones de escombros realizadas por transportistas a través de la plataforma Recylink. Este valor incluye tanto el transporte de los escombros como la disposición final de éstos en sitios autorizados.

De acuerdo a las estimaciones realizadas en este informe, el año 2018 se habrían generado alrededor de 4,8 millones de metros cúbicos de residuos de la construcción. Considerando una tarifa promedio de \$10.500 por metro cúbico de escombros trasladado, las empresas constructoras gastarían un total de \$50.600 millones anuales por desechar residuos generados en obra. Esto no considera el costo de los materiales que son desperdiciados, sino únicamente el costo de trasladarlos al sitio de disposición final.

Hallazgo 11. No existe un control cuantitativo de los residuos de la construcción en los sitios de disposición final, lo que dificulta la trazabilidad de éstos. En general, no existe trazabilidad de los residuos de la construcción.

Hallazgo 12. Una de las limitaciones más importantes para realizar una gestión de residuos eficiente es la falta de espacio para acopiar residuos en las obras. Ello implica que la velocidad de retiro de los escombros sea un aspecto clave.

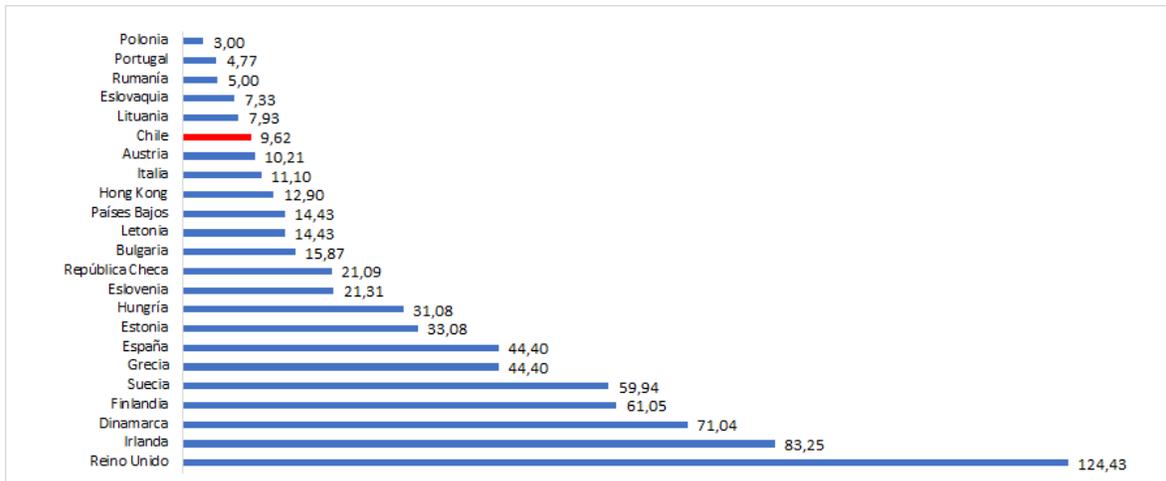
Hallazgo 13. Enterrar residuos sólidos no peligrosos de la construcción tiene un valor económico muy bajo para las empresas constructoras, por lo que no existirían incentivos económicos para valorizar los residuos o reducir la cantidad enviada a botaderos. Se estima que este valor podría ser de \$10.500 por metro cúbico transportado.

Hallazgo 14. Las empresas constructoras gastarían un total de \$50.600 millones anuales por transportar y disponer los residuos generados en obra.

Los costos asociados al transporte y la disposición final de los residuos de la construcción y demolición en Chile son bajos en relación a otros países del mundo. El gráfico 27 presenta los costos por disposición final en vertederos para distintos países de la OECD, en USD por tonelada de residuo dispuesta. De acuerdo a las estimaciones elaboradas en este informe, Chile presentaría un costo de USD9,62 por tonelada de residuo de la construcción dispuesta en vertederos, posicionando a nuestro país muy por debajo del promedio de los demás países del mundo. Países como el Reino Unido, por ejemplo, donde existen políticas públicas efectivas⁵⁶ para reducir la cantidad de residuos dispuestos en vertederos presentan un costo de USD124,43 por tonelada. Es decir, más de diez veces el costo que implica para las empresas en Chile.

⁵⁶ Ver cuadro 4 para más ejemplos de países con políticas públicas exitosas en términos de la disposición final de residuos en vertederos.

Gráfico 27. Benchmark de Costo por disposición final en vertederos por país (UE, Hong Kong y Chile), en USD por tonelada.



Fuente: Elaboración propia con datos Deloitte 2017

Cuadro 3. Medidas adoptadas para el tratamiento de los residuos de la construcción.

Ante el desafío que significan los residuos de la construcción y demolición para lograr avanzar hacia un desarrollo sustentable, diversos países han incorporado medidas que permiten incentivar una reducción de los escombros generados en la construcción, de manera de fomentar su valorización. A continuación se presentan tres casos donde las políticas públicas han introducido medidas en esta dirección.

País	Costo de transporte y/o disposición final de residuos
Hong Kong ⁵⁷	Los contratistas deben enviar residuos de la construcción y demolición a vertederos diferenciados donde son clasificados. El cobro es de de 100 dólares HK por tonelada cuando se envían sin clasificar o de 27 HK si han sido clasificados y son sólo residuos inertes.
UK ⁵⁸	Introducido en 1996 como un impuesto medioambiental para ayudar a reducir la cantidad de desperdicios llevados para relleno sanitario, el impuesto cobrado por disposición final depende del tipo de desperdicio; aquellos inertes o inactivos están sujetos a una tasa menor de £3 por tonelada, mientras que a los demás se les aplica una tasa de £94.15 por tonelada de residuo.

⁵⁷ Estudio “Caracterización de residuos de la construcción, 1ª etapa: Desarrollo, validación y calibración de metodología, aplicado a casos piloto”, Centro de Investigación de Tecnologías de la Construcción, Universidad del Bío-Bío (2017)

⁵⁸ <https://www.gov.uk/government/publications/rates-and-allowances-landfill-tax/landfill-tax-rates-from-1-april-2013>

España	La autorización para vertederos de residuos peligrosos contendrá la obligación de su titular de suscribir un seguro de responsabilidad civil y el depósito de una fianza. El seguro de responsabilidad civil cubrirá el riesgo por los posibles daños causados a las personas y al medio ambiente, mientras que con la fianza el titular responderá del cumplimiento de todas las obligaciones que frente a la Administración se deriven del ejercicio de la actividad. La fianza es devuelta al corroborar la correcta gestión de residuos. ⁵⁹
--------	--

Fuente: Elaboración propia

2.5. Valorización de los residuos

Considerando la gran cantidad de residuos generados en una obra de construcción y los costos económicos asociados a ello, cabe preguntarse qué puede hacer la empresa constructora para mejorar los procesos asociados a la gestión de residuos y, de esta forma, aumentar sus niveles de productividad. La valorización de los residuos de la construcción se presenta como una oportunidad frente a esta situación.

Dentro de la jerarquía del manejo de residuos, definida por la Ley N° 20.920, se establece el orden de preferencia en que se debe abordar el problema de la generación de residuos, considerando una serie de acciones. Tomando en cuenta la eficiencia en el uso de los recursos y la energía, la pirámide invertida establece el siguiente orden: prevención de residuos, reutilización, reciclaje, valorización energética y finalmente disposición final/eliminación (Figura 10). Los conceptos de reutilización, reciclaje y valorización energética corresponden a acciones de valorización, cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los mismos.

Figura 10. Jerarquía del manejo de residuos



⁵⁹ Más información sobre la aplicación española en Anexo 3.

La primera acción de valorización en la jerarquía es la reutilización, que corresponde a encontrar, dentro de los residuos producidos en la obra, materiales que puedan ser aprovechados sin la necesidad de un tratamiento mayor, a diferencia del reciclaje⁶⁰. Esta acción no requiere del uso de energía, agua y recursos extra para convertir el material en un nuevo producto, subproducto o materia prima. Posteriormente se encuentra el reciclaje, que se entiende como el proceso industrial que busca la conversión de un residuo en una nueva materia prima, requiriendo de un proceso de transformación del material a través de procesos químicos o mecánicos, utilizando muchos más recursos que reutilización para su rehabilitación, siendo menos eficiente.

Como última acción de valorización está la valorización energética. Esta no considera la materialidad para su aprovechamiento como materia prima o subproducto, sino que, para evitar llegar a la disposición final de residuos busca el aprovechamiento calorífico de estos. En otras palabras, busca la transformación del residuo en energía. Esta acción requiere la identificación de los materiales con potencial combustible y la gestión del proceso con una empresa externa, principalmente mediante incineración. A nivel nacional, esta industria es incipiente y se encuentra en desarrollo.

Además de su impacto medioambiental, la valorización de los residuos de la construcción podría generar considerables ahorros para la empresa constructora. Por de pronto, la separación de los materiales de la construcción permitiría a la empresa constructora ahorrar en el transporte de ciertos materiales. Se estima, por ejemplo, que el transporte y tratamiento de la madera es alrededor de 10% más barato que el transporte y tratamiento de los escombros⁶¹. El transporte y tratamiento del cartón puede ser hasta 18% más barato que el transporte y tratamiento de los escombros. Todo lo anterior sin considerar el costo que pueden recuperar las empresas constructoras por la venta de dichos materiales reciclados. Además, para valorizar los materiales de la construcción es necesaria la implementación de ciertas medidas de gestión que tendrían impactos positivos sobre la productividad de la empresa⁶².

A pesar de la importancia que tiene la valorización en la reducción de los residuos de la construcción, de acuerdo a información obtenida del RETC, al año 2017 sólo un 6% de los residuos sólidos no peligrosos declarados por el sector de la construcción fue valorizado. Es decir, más del 90% de los residuos de la construcción generados fueron directamente eliminados en botaderos. Esta es una estimación conservadora, ya que es de esperar que aquellas empresas que hacen valorización de sus residuos, sean también quienes declaren en el RETC⁶³. Por lo tanto, el porcentaje de valorización podría ser aún menor, si se considera que parte importante de los residuos de la

⁶⁰ Para estos efectos, no se considera la “prevención” como una acción de valorización del material en sí misma.

⁶¹ Estimaciones propias a partir de información sobre 476 recolecciones de escombros y madera realizadas por transportistas a través de la plataforma Recylink.

⁶² Ver más adelante los casos de estudio de la implementación de planes de gestión de residuos.

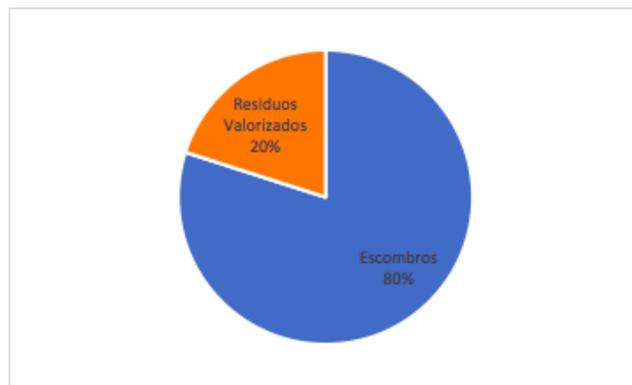
⁶³ Ello ya que son las empresas constructoras que, por lo general, presentan mejores prácticas en términos de sustentabilidad y gestión de los residuos.

construcción no valorizados tampoco están siendo declarados. Con todo, existe un alto potencial en términos de valoración de residuos de la construcción en Chile.

Hallazgo 15. Se estima que sólo el 6% de los residuos sólidos de la construcción fueron revalorizados en 2017, a pesar de que el proceso de valoración no presenta mayores costos económicos para la empresa constructora.

Para implementar exitosamente las acciones de valoración, la gestión de los residuos de la construcción en la obra es clave, ya que permitirá visualizar, identificar y recuperar el material de forma temprana. Un ejemplo de ello se observa en la obra Edificio San Luis de Macul, de la constructora INGEVEC S.A, que en sólo seis meses de implementación del plan de gestión de residuos logró valorizar un 20% del total de los residuos generados en la obra (Gráfico 28). Esto es un aumento sustancial, considerando que sin gestión de residuos la obra no valorizaba ningún tipo de material.

Gráfico 28. Valorización de residuos en obra Edificio San Luis de Macul



Fuente: Informe Asesoría Técnica - Levantamiento de Residuos, CDT (2020)

A pesar de no ser una práctica extendida en el sector de la construcción, existen en el país diversos casos exitosos en términos de la valoración de los residuos de la construcción. En general, las empresas constructoras valorizan aquellos materiales que tienen un mercado de reciclaje más desarrollado, lo que se traduce en mayores precios de venta. Estos materiales son principalmente acero, cartón, madera, plástico (PET)⁶⁴. Otro ejemplo exitoso es la obra Altavista, ubicada en Puerto Montt, donde la empresa constructora AXIS S.A introdujo un plan de gestión de residuos en la última

⁶⁴ Informe Asesoría Técnica - Levantamiento Valorización de Residuos, CDT (2020)

etapa del proyecto⁶⁵. La introducción del plan de residuos cambió la composición de los residuos de la construcción generados en obra, permitiendo extraer materiales valorizables (Tabla 8).

Tabla 8. Composición de los residuos generados en obra

Tipo de residuo	Cantidad (m ³)	Participación (%)
Fierro y chatarra	64	34%
Poliestireno	18,5	10%
Cartón	8	4%
Plástico	12,2	6%
Escombros	65	34%
Hormigón	5,25	3%
Madera	24,9	13%

Fuente: Elaboración propia a partir de información reportada por Constructora AXIS S.A.

Hallazgo 16. En Chile, no existe la obligación de valorizar los residuos de la construcción, por lo que los escombros que llegan a los sitios de disposición final incluyen materiales que tienen un alto potencial de reciclaje.

Hallazgo 18. La introducción de Planes de Gestión de Residuos permiten a las empresas constructoras aumentar rápida y significativamente la cantidad de residuos valorizados, reduciendo la cantidad de escombros generados en obra.

2.6. Los áridos como potencial material reciclable

Como se mencionó anteriormente, los residuos de la construcción suelen ser áridos y pétreos derivados principalmente del hormigón. En consecuencia, reciclar estos residuos para producir nuevos materiales de construcción supondría enormes beneficios ambientales y económicos. Actualmente estos materiales no son valorizados y, por lo tanto, son considerados escombros y llevados a sitios de disposición final. Sin embargo, en muchos países se han producido agregados reciclados por chancado de desechos de hormigón, mostrando el potencial de

⁶⁵ Cada etapa del proyecto contemplaba 3 edificios habitacionales de 3 y 4 pisos, cuyo material predominante fue el metalcón estructural. La última etapa se encuentra actualmente en ejecución.

valorización que tienen estos residuos⁶⁶. De acuerdo a la evidencia internacional, el árido reciclado presentaría el mayor potencial de valorización⁶⁷.

Los áridos son definidos como materiales compuestos de partículas de origen pétreo, duras, de forma y tamaño estables. Se denominan o clasifican según su tamaño y la textura superficial de sus partículas. Según su tamaño, puede ser clasificado como grava, gravilla o arena, o por textura superficial en árido tratado y árido natural. Estos pueden ser utilizados para una serie de aplicaciones, principalmente en construcción, para la elaboración de distintos materiales de orden pétreo como hormigón, mortero o relleno; o para procesos de otras industrias como la metalúrgica, químico-farmacéutica o en depuración de agua.

Uno de los mayores desafíos en relación al mercado de los áridos en Chile es que su oferta es sustantivamente menor que su demanda. La Comisión de Áridos del Instituto de la Construcción estimó que la producción de cemento y asfalto (que determina el consumo total de los áridos en nuestro país) es de 11 millones de metros cúbicos anuales, sólo en la Región Metropolitana. Sin embargo, se estima que la capacidad de las plantas recolectoras formales es de 4 millones de metros cúbicos, por lo que existiría una diferencia de aproximadamente 7 millones de metros cúbicos asociados a la extracción ilegal de áridos⁶⁸. Este es un negocio ilegal de alrededor de USD 135 millones anuales, considerando que el precio del metro cúbico de árido ronda los \$15.000⁶⁹.

El Ministerio de Bienes Nacionales identificó cerca de 80 ocupaciones ilegales o irregulares de extracción de áridos, con una superficie de extracción de más de mil hectáreas. La mayor cantidad de ocupaciones se encuentra en los cauces de los ríos de la Región Metropolitana⁷⁰. La extracción ilegal de áridos tiene impactos medioambientales y económicos. Al retirar áridos sin evaluación de los efectos medioambientales, se pueden alterar los cauces de los ríos, provocando inundaciones y socavando construcciones como puentes, con el consiguiente peligro que esto conlleva. Por otra parte, el mercado ilegal de áridos no paga impuesto alguno por ocupar bienes nacionales que pertenecen a todos los chilenos, además de vender el material sin especificaciones técnicas y de baja calidad.

Una alternativa para generar una mayor oferta de áridos en el país es desarrollar el mercado de los áridos reciclados. El proceso de reciclaje de los áridos consiste en usar los productos derivados de demoliciones, fresados y otras actividades similares en la construcción de obras nuevas, dándoles el carácter de un árido más. Generalmente, el producto reciclado requiere de un proceso de selección y clasificación por tamaño de partículas, trituración y selección, lavado, o eliminación de

⁶⁶ Aldana & Serpell (2012) mostraron que el hormigón puede ser utilizado para: Agregado para bases de caminos y lotes de estacionamientos; áridos para nuevas mezclas de hormigón; bloques de pavimento con 70-100% de agregados de hormigón reciclado; cubierta para botaderos municipales. Los agregados pueden ser utilizados para: Sub-bases de caminos, llenos para drenajes y hormigones. Finalmente, los ladrillos pueden utilizarse para: Trituración para uso en llenos; cubierta para botaderos municipales

⁶⁷ Aldana & Serpell (2012).

⁶⁸ Estimaciones de la Comisión de Áridos del Instituto de la Construcción.

⁶⁹ Se utiliza un tipo de cambio de \$769.

⁷⁰ Ministerio de Bienes Nacionales, 2019.

otros materiales constituyentes de la estructura demolida. Por ejemplo, para que los áridos procedentes del reciclado sean empleados en la fabricación de nuevo hormigón es imprescindible que se realice una separación inicial, seleccionando únicamente los áridos procedentes de hormigón. La experiencia europea en esta materia es amplia e incluye catálogos de residuos utilizables en geotecnia, carreteras y estructuras, entre los cuales se encuentran los escombros de hormigón. En España ya existen diversas plantas de reciclado de áridos y se prevé la apertura de nuevas industrias de este tipo en el corto plazo. Sin embargo, en nuestro país aún no se conoce un método de reciclaje directo de estos residuos, y el uso de áridos reciclados está limitado a algunos pavimentos asfálticos. Desarrollar el mercado de áridos reciclados en Chile permitiría cubrir parte importante de la demanda por áridos, dado el alto volumen de pétreos que se encuentra en los residuos de la construcción, que podría ascender a 4,8 millones de toneladas anuales⁷¹.

Actualmente, existen algunas barreras para el desarrollo del mercado de áridos reciclados en nuestro país. En primer lugar, la falta de normativa que permita y regule el uso de áridos reciclados para hormigón. A diferencia de las normas para obras viales, la normativa que establece los requisitos que deben cumplir los áridos para hormigones es la Norma Chilena NCh163-Of 79⁷². Esta norma limita el uso de áridos reciclados en la producción del hormigón, dado el elevado nivel de resistencia que se le exige tener⁷³. Además, la Norma Chilena NCh170, que establece los requisitos generales mínimos para la confección, transporte y usos de hormigones de densidad entre 2.000 y 2.800 kg/m³ usados en hormigón simple y reforzado, no especifica ni considera el uso de hormigones reciclados. Así, en la práctica, la falta de una regulación específica para este tipo de material reciclado limita su uso⁷⁴. En segundo lugar, la escasa investigación y desarrollo que existe respecto de los usos de los áridos reciclados para hormigones restringe su masificación en otro tipo de obras. No existe suficiente evidencia en Chile sobre la calidad de los hormigones producidos en base a áridos reciclados, lo que genera desconfianza por parte de los consumidores de dicho producto. Sin embargo, existen diversos casos exitosos de reutilización de áridos reciclados, sobretudo en infraestructura vial y aeropuertos (Cuadro 5). Finalmente, el mercado informal de áridos también se presenta como un obstáculo para el desarrollo del mercado de áridos reciclados, dado el bajo costo de extracción de áridos ilegales.

⁷¹ Si se considera que el 70% de los residuos de la construcción son residuos pétreos, entonces éstos podrían alcanzar los 4,8 millones de toneladas anuales (dado el volumen estimado de residuos totales de la construcción).

⁷² Distinta a la normativa que rige para obras viales, que corresponde a la LNV 63 (Manual de Carreteras).

⁷³ En Europa, existen incluye catálogos de residuos utilizables en geotecnia, carreteras y estructuras. Ello permite que los consumidores puedan escoger el tipo de hormigón, que tendrá diversos niveles de resistencia, según los fines para los cuales se utilice.

⁷⁴ Actualmente se está realizando un trabajo interministerial para modificar esta norma y definir estándares que permitan la utilización de áridos reciclados en obra. Ello debería promover el mercado de los áridos en el país.

Cuadro 5. Casos de aplicación de áridos reciclados en aeropuertos por la Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas⁷⁵**Caso 1: Aeropuerto Diego Aracena (Iquique) – 2014**

Normalmente, la conservación de pavimento de hormigón implica la demolición de las losas para su posterior traslado a un botadero de escombros. Sin embargo, en este caso se decidió utilizar el chancado (trituración) de las losas de hormigón para utilizarlo como material de relleno en la confección de terraplén, usándolo para nivelar el terreno al norte de la pista conservada. El proceso consistía en la trituración de las losas de hormigón, la compactación del terraplén y, por último, el perfilado de este.

Caso 2: Aeropuerto Chacalluta (Arica) – 2016

Para la conservación de pistas asfálticas se utiliza maquinaria especializada para el fresado (proceso que corresponde al corte y remoción automatizados de pavimento a una profundidad específica⁷⁶) de la capa asfáltica para disponer luego del material resultante. Se optó en este proyecto por reutilizar este material en la construcción del camino perimetral del aeropuerto y la construcción de nuevas RESAs⁷⁷.

Caso 3: Aeropuerto Diego Aracena (Iquique) – 2016

El proceso típico para la conservación de un rodaje consiste en eliminar toda estructura de pavimento para ser reconstruida con materiales nuevos y los desechos eliminados. Se optó por usar la técnica de reciclaje y estabilización in-situ con emulsión asfáltica. Este consiste en el fresado de la porción superior para, en el mismo momento, molerlo y mezclarlo con un producto estabilizador para instalar este nuevo material generado, siendo un trabajo mucho más rápido que el convencional (hoy existe como ETG 46 de la DAP).

Un análisis de deflexión mostró que la porción donde se aplicó estabilización muestra menores deflexiones, lo que es signo de mayor capacidad de respuesta estructural, y mayor rigidez relativa que el tramo de pavimento de estructura original⁷⁸. Además, se midieron reducciones de 73% en la producción de desechos sólidos, 54% de contaminación al aire, 33% en uso de agua y 76% en consumo de áridos.

Caso 4: Proyecto Futuro – Aeropuerto Tobalaba

Con una ejecución esperada para mayo de 2020, luego de una adjudicación en marzo del mismo año, este proyecto pretende aplicar la misma técnica del rodaje Alfa para la pista de este aeropuerto. Se estima que gracias a esta aplicación se recicla el 31% del material (3.773 m³); se reduce en 86% la extracción y uso de material nuevo (10.893 m³, considerando el esponjado); y

⁷⁵ Economía Circular: Aplicación en los Residuos de la Construcción y Demolición de Pavimentos Aeroportuarios; Dirección de Aeropuertos, Ministerio de Obras Públicas

⁷⁶ <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/05.cfm>

⁷⁷ Áreas de seguridad de extremo de pista (Runway End Safety Area)

⁷⁸ Informe de análisis de Deflexiones Calle de Rodaje Alfa, 3ipe para Bitumix, 2018

se obtiene una disminución del 85% del material que sería llevado a botadero con el método tradicional (10.374 m³)

Hallazgo 19. La demanda de áridos en Chile es sustancialmente mayor que la oferta de este material, por lo que existe una cantidad importante que es proporcionada por el mercado informal. Este es un negocio de alrededor de USD 120 millones anuales, los que se encuentran exentos de impuestos y generan una pérdida de ganancia para el Fisco.

Hallazgo 20. El hormigón posee un alto potencial de valorización, pudiendo ser integrado nuevamente a la cadena productiva a través de la producción de áridos reciclados. En Chile, se desechan alrededor de 4,8 millones de toneladas anuales de áridos como residuos de la construcción, ya que no existe un mercado de áridos reciclados.

Hallazgo 21. La falta de un mercado para el árido reciclado en Chile se debe tanto a la falta de normativa que lo permita, como a la escasa investigación y desarrollo en la materia, y a los bajos precios del árido transado en el mercado informal.

2.7. La gestión de residuos como oportunidad para mejorar la productividad.

Según las estimaciones realizadas en este informe, el año 2018 se habrían generado alrededor de 4,8 millones de metros cúbicos de residuos de la construcción, lo que se traduce en pérdidas económicas importantes para las empresas. Los impactos económicos de generar residuos en una obra de construcción se encuentran, principalmente, en el valor del material desechado. A nivel nacional, y asumiendo una tarifa de \$10.500 por metro cúbico de escombros trasladado, el costo total de transportar y disponer los residuos de la construcción generados en un año sería de \$50.600 millones anuales. Sin embargo, se estima que este costo sólo correspondería al 13% del costo total de los residuos de la construcción, ya que el costo del material daría cuenta del 87% de los costos totales para la empresa generadora del residuo⁷⁹. El costo asociado a la pérdida de materiales, entonces, podría ascender a \$338.700 millones anuales⁸⁰. Por lo tanto, el costo

⁷⁹ Ossio (2018), Cuantificación Económica de los Residuos de Construcción de una Edificación en Altura: Un Caso de Estudio.

⁸⁰ Se obtienen estimaciones similares al aplicar el precio unitario de los materiales que componen los residuos de la construcción. Si se asume que el 50% de los residuos de la construcción fueron derivados de pérdidas de hormigón, el costo asociado a la pérdida de ese material es de \$156.700 millones, considerando que el precio del metro cúbico de hormigón ronda los \$65.000. Estas pérdidas podrían ascender a \$219.400 millones, si se asume que el 70% de los residuos de la construcción son derivados de pérdidas de hormigón; este supuesto se basa en la composición de los residuos de la construcción, donde más de un 70% correspondería a pétreos.

económico total de los residuos de la construcción generados a nivel nacional ascenderían a \$389.300 millones anuales. Esto es, un costo total de \$20.260 por metro cuadrado construido.

Para ilustrar la magnitud de los costos asociados a los residuos de una obra de construcción, en un edificio residencial en altura de 16.000 m² se generarían alrededor de 4.000 metros cúbicos de residuos, los que implicarían un costo total de \$320 millones (tanto por transporte como por material desechado). Así, la cantidad de residuos generados aparece como una medida de productividad de las empresas constructoras, que se traduce directamente en costos asociados a su retiro y a la pérdida del material. Las acciones que permitan reducir los residuos generados en las obras permitirán también reducir los costos, lo que a su vez podría mejorar los niveles de productividad de las empresas constructoras.

Hallazgo 22. Considerando el valor del material involucrado, el costo económico total de desechar los residuos de la construcción generados a nivel nacional podría ascender a \$389.300 millones anuales. Esto es, alrededor de \$20.200 por metro cuadrado construido.

Una medida concreta para reducir la cantidad de escombros generados en una obra de construcción es hacer gestión de dichos residuos. Para hacer gestión de residuos, las empresas constructoras deben separar los residuos desde el origen. Esto significa separar, en la misma obra, los residuos de la construcción según su materialidad. El nivel de separación de los materiales dependerá de cada constructora, y de su capacidad de valorizar los diversos residuos generados en las obras. Existen diversos ejemplos exitosos de empresas que han logrado reducir significativamente sus residuos, mediante la aplicación de Plan de Gestión de Residuos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Casos de Estudio: Implementación exitosa de Planes de Gestión de Residuos.

Caso 1: Obra Altavista, Constructora AXIS S.A

En la obra Altavista ubicada en Puerto Montt, la empresa constructora AXIS S.A introdujo un Plan de Gestión de Residuos en la última etapa del proyecto⁸¹. La etapa que incluyó el Plan de Gestión de Residuos logró reducir en un 77% la cantidad de escombros generados en la obra, pasando de 680 m³ a 156 m³⁸². Es decir, se generaron 524 m³ menos de escombros en esta etapa, los que equivalen a una excavación de 15 x 7 x 3 metros. Esto se traduce en 66 camiones menos de escombros extraídos de la obra⁸³. Los menores costos asociados a la reducción de escombros no

⁸¹ Cada etapa del proyecto contemplaba 3 edificios habitacionales de 3 y 4 pisos, cuyo material predominante fue el metacón estructural. La última etapa se encuentra actualmente en ejecución.

⁸² Se considera escombros a todo material que no es valorizado.

⁸³ Los camiones de recolección de residuos para esta obra transportaban un volumen de 8 m³ por camión.

sólo corresponden al transporte y disposición de los escombros, sino también a la reducción de un 50% los jornales de aseo como resultado de la introducción del Plan de Gestión.

Caso 2: Edificio Pacific Blue, Constructora VICONSA.

En la construcción del edificio residencial Pacific Blue, construido por la empresa constructora VICONSA, se implementó un Programa de Gestión de Residuos de la construcción. La gestión de residuos permitió que la obra pasara de 4.830 m³ de escombros presupuestados a 3.006 m³ de escombros efectivamente generados. Esto es, una reducción del 37,7% de los escombros generados en obra, que equivale a 109 camiones menos de escombros extraídos de la obra. De acuerdo a información aportada por la empresa, los ahorros en transporte de escombros de la construcción fueron de 30% del costo total por este concepto⁸⁴.

Además, el Programa de Residuos permitió generar 951 m³ menos de residuos totales en la obra (considerando tanto escombros como residuos valorizados). Esta reducción en la cantidad de residuos totales se traduce directamente en aumentos de productividad de la empresa, que redujo la cantidad de materiales desechados en la obra. Suponiendo un costo total de \$50.000 por metro cúbico de residuo, la empresa habría ahorrado \$47.550.000 en costos de transporte y disposición de residuos, y en el costo asociado a la pérdida de los materiales comprados y desechados⁸⁵. Estas estimaciones no contemplan los costos asociados a la implementación de los Planes de Gestión.

Caso 3: Edificio Vista Higuierillas, Constructora VICONSA.

En la construcción del edificio Vista Higuierillas, la constructora VICONSA implementó un Programa de Gestión de Residuos durante todo el proceso de la obra. La gestión de residuos permitió reducir los escombros desde 4.410 m³ presupuestados a 2.505 m³ de escombros efectivamente generados. Esto corresponde a una reducción del 43% de los escombros generados en la obra, respecto a lo presupuestado. Así, la obra logró valorizar un 35% del total de sus residuos, y logró reducir 166 camiones de escombros extraídos de la obra.

La Gestión de Residuos permitió generar 576 m³ menos de residuos totales en la obra (considerando tanto escombros como residuos valorizados). Suponiendo un costo total de \$50.000 por metro cúbico de residuo, la empresa habría ahorrado \$28.800.000 en costos de transporte y disposición de residuos, además del costo asociado a la pérdida de los materiales comprados y desechados⁸⁶. Estas estimaciones no contemplan los costos asociados a la implementación de los Planes de Gestión.

Caso 4: Plan de Gestión de Empresa Constructora SUKSA

⁸⁴ Informe de cierre Manejo de residuos y Medio Ambiente en obra Pacific Blue, Viconsa Constructora

⁸⁵ Estimaciones propias a partir de los indicadores del costo total de residuos de la construcción, generados para este informe.

⁸⁶ Estimaciones propias a partir de los indicadores del costo total de residuos de la construcción, generados para este informe.

Durante el año 2017, la Constructora SUKSA implementó un plan para mejorar la productividad en la obra, medido a través de diversos indicadores de productividad, dentro de los cuales se encontraba el indicador de residuos generados en obra. Las mejoras en los indicadores de residuo estuvieron fuertemente correlacionadas con las mejoras en productividad de la obra; se redujeron la cantidad de reprocesos, de residuos, y de costos.

Actualmente, la Constructora SUKSA implementa sus Planes de Gestión de residuos en todas las obras. Estos planes han tenido impactos significativos sobre la cantidad total de residuos acumulados en obra. A nivel de la empresa, durante el período 2018-2019 la cantidad total de metros cúbicos de escombros generados por metro cuadrado construido se redujo en un 16,4% respecto al período 2016-2017. Como resultado, la empresa constructora generó un promedio de 0,16 metros cúbicos de escombros por metro cuadrado construido; posicionándose muy por debajo del promedio nacional estimado. Esto implicó una reducción de 4.473 m³ de escombros generados en las obras, respecto de lo presupuestado. Con ello, además, se redujeron en 376 la cantidad de camiones necesarios para transportar dichos residuos.

De acuerdo a información reportada por la empresa, sólo en costos de transporte y disposición final de escombros, las obras con Plan de Gestión en 2019 habrían ahorrado un total de \$40.578.965, respecto a los costos presupuestados para este concepto, equivalentes a un 16% de dichos costos.

Por último, las obras con Plan de Gestión lograron aumentar sustantivamente la cantidad de residuos valorizados por la empresa SUKSA. Entre el año 2019 y 2017, la cantidad de residuos valorizados por la empresa aumentó en un 120%, impulsados principalmente por la valorización de madera y plásticos PET⁸⁷.

Implementar planes de gestión de residuos permite que las empresas constructoras ahorren costos significativos en la obra. Estos planes presentan bajos costos económicos de implementación, pero requieren de un compromiso por parte de la empresa⁸⁸. La experiencia nacional de empresas constructoras que han implementado planes de gestión de residuos, muestra que es posible reducir entre un 16% y un 70% de los residuos generados en la obra, dependiendo de la cantidad inicial de residuos generados (Tabla 9). Aquellas empresas con peores indicadores de residuos iniciales, verán reducidos los volúmenes generados más fácilmente; presentándose así una oportunidad de ahorro significativo en costos. Los ahorros provenientes de dichos planes no sólo estarían asociados con los menores costos de transporte y disposición final de los residuos, que también varían entre el 16% y

⁸⁷ Cabe mencionar que el material más valorizado es el fierro, sin embargo, este material ha era valorizado en 2017 dado que existe un mercado de fierro reciclado muy desarrollado en el país.

⁸⁸ Los planes de gestión suelen incluir charlas a los trabajadores, capacitaciones internas, medidas de reciclaje y espacio en la obra para segregar los residuos.

30% para los casos estudiados, sino también vendrían dados por la menor pérdida de material. Por último, este tipo de planes permitiría reducir la cantidad de reprocesos y mejorar los indicadores de productividad en la obra.

Tabla 9. Ahorros logrados por uso de Planes de Gestión de Residuos, Constructora Viconsá

	Obra					
	Pacific Blue		Vista Higuierillas		SOHO	
Reducción de residuos (m3)	1.824	37,8%	1.905	43,2%	1.474	40,7%
Valorizado	873		1.329		1.307	
Otros	951		576		167	
Plan Gestión de Residuos (\$)	5.363.209	17,1%	1.536.277	5,4%	2.902.559	12,3%
Implementación Plan GdR	-5.725.596		-8.332.858		-8.332.858	
Aseo obra	-31.395		-28.665		-23.550	
Ahorro en transporte y disp.	11.120.200		9.897.800		11.258.966	
Valorización (\$)	5.457.970	17,4%	6.318.120	22,0%	5.092.980	21,6%
Costo transporte reciclaje	-840.000		-3.172.200		-2.849.880	
Reutilización fierro	-		2.863.200		3.266.100	
Venta fierro	6.297.970		6.627.120		4.676.760	
Ahorro Total (\$)	10.821.179	34,5%	7.854.397	27,4%	7.995.539	34%

Fuente: Elaboración propia con datos de Constructora Viconsá

Hallazgo 23. Las obras de construcción que han incorporado la gestión de residuos han logrado reducir significativamente la generación de residuos de la construcción, a un bajo costo para la empresa constructora.

Hallazgo 24. Las obras de construcción que han incorporado la gestión de residuos han mejorado sus niveles de productividad; reduciendo la cantidad de reprocesos y costos asociados a los residuos en la obra.

3. Construcción Industrializada y economía circular

A nivel mundial, la industria de la construcción se enfrenta a dificultades debido a la escasez de mano de obra calificada y bajas tasas de productividad. Se ha observado que, usualmente, los grandes proyectos de construcción demoran un 20% más de lo presupuestado e incurren en costos significativamente mayores a lo previsto⁸⁹. Este problema tiene además repercusiones medioambientales, ya que todo material que es desechado en la obra pasa a ser parte de los residuos de la construcción; residuos que por lo general son depositados en botaderos.

Esta situación, propia del modelo de construcción tradicional, abre espacio para una nueva oportunidad de mejora para el sector: la construcción industrializada. A diferencia del modelo tradicional, donde el factor principal es la utilización de mano de obra en el predio de construcción, para la construcción industrializada los componentes de la edificación son construidos en una planta exterior para su posterior traslado y ensamble en el sitio de obra. El enfoque industrializado promueve el uso de procesos de automatización y mecanización, facilitando la capacidad de desarmar y re-ensamblar las estructuras de una edificación.

Existen estimaciones que proyectan que, con una adecuada inversión en tecnología, la construcción industrializada podría llegar a cubrir un 50% de las construcciones en Europa al año 2030⁹⁰. Este crecimiento se debería a la capacidad de la construcción industrializada de abordar las principales problemáticas del sector de la construcción, entregando beneficios difíciles de alcanzar con los métodos tradicionales, tales como: reducción de costos de mano de obra, mejoras en seguridad, disminución de retrasos, mejoras en la calidad de productos, y mejoras en productividad.

Los beneficios de la construcción industrializada ya han sido aprovechados por algunas empresas, logrando reducciones de costos de hasta un 30% y disminuyendo los tiempos de entrega en alrededor de 50%⁹¹. Desde una perspectiva circular, este tipo de tecnología permite reducir tanto el consumo energético y material, como la cantidad de escombros y polvo generados. Las mermas de material son reducidas al mínimo, fabricando solo lo necesario y ofreciendo importantes ahorros en los costos de materiales. Además, en relación con los métodos tradicionales de construcción, algunas estimaciones señalan que este método tiene el potencial de reducir hasta en un 90% la generación de residuos de la construcción⁹².

La construcción industrializada puede aplicarse usando diversas tecnologías. A continuación, se revisarán tres conceptos relevantes presentes en la literatura de construcción industrializada:

⁸⁹ Rajat Agarwal, Shankar Chandrasekaran, and Mukund Sridhar (2016), *Imagining construction's digital future*.

⁹⁰ Ellen MacArthur Foundation (2015) – *Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe*

⁹¹ Ellen MacArthur Foundation (2015), *Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe*

⁹² Waste and Resources Action Programme (WRAP), *Waste reduction potential of offsite volumetric construction*.

3.1. Construcción Modularizada

La construcción modular es una forma de prefabricación en la que los módulos, o unidades de edificación, son construidos completamente fuera de la obra para posteriormente trasladarlos y montarlos en el sitio de construcción. Este método ofrece adaptabilidad y versatilidad, ya que puede ser utilizado para distintos tipos de edificación y con diversos materiales. Su uso va desde baños pequeños hasta una casa completa, aplicándose esta técnica en hoteles, departamentos y otros tipos de edificación que requieren estructuras repetitivas, teniendo la posibilidad de quitar o añadir módulos.

La mayor parte del trabajo es llevado a cabo en una fábrica con condiciones ambientales controladas, junto con la maquinaria adecuada para un trabajo óptimo. Esto permite que las tareas restantes en obra consistan principalmente en el ensamble de los módulos para la conclusión del edificio, estando los sistemas de plomería y eléctricos listos desde fábrica.

Se ha estimado que este método contribuye a la reducción de costos operacionales y de mantenimiento de una edificación, además de una mejora del retorno a la inversión, una disminución de 20% de uso de mano de obra y ahorros de 15% asociados a mermas y robos⁹³. El trabajo en planta, a diferencia de las obras en exterior, permite que los factores meteorológicos no influyan, logrando mayor rapidez en la obra, precisión y capacidad de respuesta a imprevistos. Un ejemplo de este método son las obras construidas por The Broad Group, constructora china que ha logrado tener hasta un 93% del trabajo constructivo fuera del sitio de obra gracias al uso de construcción modular. Ello les permitió levantar un hotel de 30 pisos en 15 días, con solo 6 meses de trabajo en fábrica y con costos 10-30% más bajos que la construcción tradicional, sin pérdidas de calidad⁹⁴.

3.2. BIM (Building Information Modeling)

La tecnología BIM consiste en la simulación digital y tridimensional de una edificación, manejando de forma detallada y coordinada su información para ser gestionada fácilmente durante el ciclo de vida del proyecto, relevando el impacto que puede tener la etapa de diseño de la obra. Con el uso de diversas herramientas se genera el modelo con el máximo detalle, contemplando cada material, componente y elemento constructivo. Debido a este nivel de especificación, su uso conjunto con procesos de prefabricación o impresión 3D es altamente recomendado. Además, esta tecnología permite el estudio y revisión del modelo computacional en la etapa de diseño con la participación y coordinación de los distintos actores involucrados en el proyecto (ingenieros, arquitectos, diseñadores u otros). Esto permite obtener retroalimentación y realizar las definiciones y modificaciones pertinentes previas a la fabricación de las partes.

⁹³ Revista BIT - Cámara Chilena de la Construcción (2012). Necesidad Productiva: Industrialización en la construcción

⁹⁴ Ellen MacArthur Foundation (2018) The Circular Economy Opportunity for Urban & Industrial Innovation in China

El uso de la tecnología BIM presenta diversas ventajas, como la reducción de plazos de construcción, el cumplimiento más preciso de plazos de entrega, una mejor calidad de construcción y la reducción de la incertidumbre presente en cada proyecto constructivo. Este sistema puede también ser utilizado para realizar el seguimiento material de una obra en su fase de deconstrucción, teniendo la información necesaria disponible para el aprovechamiento de cada elemento. Además, tiene la capacidad de incorporar otro tipo de factores como los tiempos de construcción, parámetros financieros, manejo de activos y efectos medioambientales, pudiendo analizarlos en tiempo real.

3.3. Impresión 3D

La impresión 3D, también referida como manufactura aditiva, es la estratificación de materiales para la creación de formas tridimensionales controlada computacionalmente. Permite la construcción de componentes esenciales del proceso constructivo o incluso de edificaciones completas. Con este sistema es posible pasar fácilmente de un modelo 3D, con la ayuda de métodos computacionales como BIM, a un producto terminado usando diversos materiales como metal, vidrio, cerámica, polímero, concreto u otros.

Este método permite la construcción más rápida y precisa de elementos complejos o específicos, la reducción de costos de mano de obra y la reducción en la generación de residuos. La impresión de submódulos o estructuras completas para ensamble podría tener importantes impactos en términos de diseño, tiempos y costos. Esta tecnología utiliza menos cantidades de material en sus procesos, respecto a la fabricación tradicional, reduciendo el impacto medioambiental. Además, no requiere de tiempos de descanso, por lo que puede seguir trabajando sin detenerse, logrando ahorros en tiempo. Finalmente, la impresión 3D ayuda a disminuir los errores debido a la intervención humana, junto con reducir el consumo energético, la contaminación acústica y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Sin embargo, la impresión 3D aún no es reconocida como un método de construcción por muchos códigos internacionales y entidades normativas, debido a la preocupación acerca de la solidez de sus estructuras y la capacidad de resistencia a ciertos ambientes. Así, esta tecnología aún requiere de mayor investigación y desarrollo.

3.4. Construcción Industrializada en Chile

En Chile, la demanda por una construcción cada vez más rápida ha llevado a la industria de la construcción a buscar nuevos métodos que entreguen mayor certidumbre y coordinación de sus procesos. Sin embargo, y pese a ser una tendencia global, Chile presenta un bajo uso de métodos de construcción industrializada: solo un 1% de sus obras incorporan esta tecnología⁹⁵. En contraste, en los países nórdicos el 25% de las construcciones utilizan algún método de industrialización.

⁹⁵ Consejo de Construcción Industrializada.

Existen diversos factores que podrían explicar los bajos niveles de industrialización de los procesos de construcción en Chile. En primer lugar, algunos expertos señalan que la industria presentaría cierta desconfianza con la adopción de tecnologías nuevas. En segundo lugar, la condición sísmica del país podría generar en la industria ciertas consideraciones respecto de la seguridad de este tipo de construcciones. Con todo, el desconocimiento de las ventajas asociadas a la construcción industrializada y a la seguridad de sus métodos constructivos podría estar impidiendo su masificación.

Hallazgo 25. El uso de modelos de construcción industrializada en Chile es mínimo. La industria presentaría cierta desconfianza respecto de la adopción de esta tecnología.

A pesar de no ser una práctica extendida en el sector, existen en Chile algunas experiencias exitosas de construcción industrializada. El análisis de algunas obras que han utilizado procesos de construcción industrializada permite observar las significativas ventajas asociadas a esta tecnología (Cuadro 7). La principal ventaja de los procesos industrializados es la reducción en los tiempos requeridos para terminar las obras, sin sacrificar la calidad de los resultados obtenidos. Al reducir la cantidad de reprocesos, las obras cuentan con terminaciones más fluidas, mejorando los tiempos y la calidad de éstas. En obras construidas por la empresa BAUMAX, se observa que las construcciones industrializadas toman entre un 24% y un 69% del tiempo de una obra construida con el método de construcción tradicional. Otro ejemplo exitoso es aquel observado por la empresa constructora AXIS S.A, que al incorporar elementos de construcción industrializada logró reducir la cantidad de días trabajados por metro cuadrado construido en un 41% (en la etapa de obra gruesa). Todo lo anterior se traduce en mejoras en productividad para la empresa.

Cuadro 7. Casos de Estudio: Construcción Industrializada en Chile

Caso 1: BAUMAX

La empresa BAUMAX ha logrado implementar tecnologías de industrialización en la construcción en Chile. Esta tecnología ha demostrado generar ahorros en costos para las empresas constructoras, mejoras en los niveles de seguridad, reducción en los plazos de entrega, y mejores estándares de sustentabilidad.

De acuerdo a estimaciones basadas en el seguimiento de distintas obras de construcción, el costo directo de la obra gruesa para una casa construida con elementos industrializados varía entre un 86% y un 113% del costo directo de una obra construida con un sistema de construcción tradicional⁹⁶. Los costos sólo serán mayores que aquellos de la construcción tradicional en casos

⁹⁶ Los costos variarán según el tipo de tecnología utilizada en la construcción industrializada. En casos con aislación térmica los costos se elevarían por sobre aquellas construcciones con métodos tradicionales, mientras que sin aislación térmica o

en que los elementos de hormigón armado deban ser mejorados para alcanzar aislación térmica. Sin embargo, la construcción industrializada presenta importantes ahorros en los costos de la construcción de la etapa de obra gruesa, los que variarían alrededor de un 10% (por menores tiempos de duración efectiva de la construcción, mejoras en las terminaciones y en los plazos).

Además, se observa que las construcciones industrializadas toman entre un 24% y un 69% del tiempo que demora en terminarse una obra construida con el método de construcción tradicional. La cantidad de horas hombres utilizadas en la obra con construcción tradicional es, al menos, el doble de la cantidad de horas hombres requeridas en obras con métodos industrializados. Esto se traduce en un ahorro en el plazo de entrega de entre 31% y 76%.

Respecto a la calidad de las terminaciones, las construcciones industrializadas muestran una menor cantidad de horas hombres requeridas para alcanzar un nivel de terminaciones homologables a las construcciones tradicionales. Los elementos industrializados utilizarían entre un 8% y un 27% de las horas hombres requeridas en las alternativas tradicionales.

Finalmente, en términos de sustentabilidad, las obras industrializadas presentan mejores indicadores de residuos generados por metro cuadrado construido. Para la obra que emplea construcción tradicional se observó la generación de 5,38 m³ en obra, mientras que los casos industrializados generaron sólo 1,47 m³ de residuos. Esto es equivalente a una reducción del 265%. En otras palabras, la obra industrializada generaría tan sólo el 27% de los residuos generados en la construcción tradicional.

Caso 2: Obra Altavista, Constructora AXIS S.A

En la obra Altavista ubicada en Puerto Montt, la empresa constructora AXIS S.A introdujo elementos prefabricados en la cuarta y quinta etapa del proyecto⁹⁷. Durante las etapas previas, el proyecto se desarrolló sin utilizar métodos industrializados, por lo que el análisis comparativo entre etapas permite tener una visión sobre las ventajas de incluir elementos prefabricados en la obra.

Específicamente, en las últimas dos etapas del proyecto se integraron muros prefabricados, mientras que se integraron módulos de losas prefabricados solamente en la última etapa. Por lo tanto, la cuarta etapa es considerada una etapa de transición hacia la industrialización. En ambas etapas, junto con prefabricar, se aplicaron conceptos de industrialización relacionados con un flujo continuo de avance, un ritmo establecido y condiciones de satisfacción conocidas por todo el equipo.

con prefabricado de maderas los costos serían menores. Dado que el hormigón no cumple con la normativa térmica, requiere aislación térmica adicional, esto hace que la partida de revestimiento térmico tenga un mayor costo, restándole competitividad.

⁹⁷ El proyecto completo consta de 5 etapas. Cada etapa del proyecto contemplaba 3 edificios habitacionales de 3 y 4 pisos, cuyo material predominante fue el metacón estructural. La última etapa se encuentra actualmente en ejecución.

Al comparar los rendimientos de la tercera etapa con la cuarta etapa, en términos de días trabajados por metros cuadrados construidos, se observa lo siguiente:

Etapa	Rendimiento (días/m ²)	Comparado entre etapas
Fundaciones Tercera Etapa	0,022	36%
Fundaciones Cuarta Etapa	0,014	
Obra gruesa Tercera Etapa	0,042	7%
Obra gruesa Cuarta Etapa	0,039	
Terminaciones Tercera Etapa	0,043	2%
Terminaciones Cuarta Etapa	0,04	

Las fundaciones de la cuarta etapa tuvieron un rendimiento 36% mejor que aquel obtenido en la tercera etapa. Ello se explica por los ciclos de fundación, que permiten generar un flujo continuo de avance. La obra gruesa tuvo un rendimiento 7% mejor que el obtenido en la etapa sin métodos industrializados, debido principalmente a la incorporación de elementos prefabricados como los muros. Finalmente, en las terminaciones existe también una mejora en el rendimiento, aunque menor.

Ahora bien, al comparar la tercera etapa con la quinta etapa (actualmente en ejecución), se observan mejoras aún mayores a las observadas en la etapa de transición, que se observan a continuación:

Etapa	Rendimiento (días/m ²)	Comparado entre etapas
Fundaciones Tercera Etapa	0,022	41%
Fundaciones Cuarta Etapa	0,013	
Obra gruesa Tercera Etapa	0,042	5%
Obra gruesa Cuarta Etapa	0,04	
Terminaciones Tercera Etapa	0,043	23%
Terminaciones Cuarta Etapa	0,03	

Nuevamente, las fundaciones presentan una mejora aún mayor en la quinta etapa, alcanzando un rendimiento que es un 41% mayor a aquel observado en la etapa sin industrialización. La reducción del rendimiento en la obra gruesa, respecto de la cuarta etapa, se debe principalmente a la incorporación de muros de hormigón en la estructura, los cuales no existían en el diseño de las etapas anteriores. Los módulos de moldaje prefabricados permitieron reducir el tiempo de duración de la fase desde 9 días a 5 días. Las mejoras en rendimiento en la etapa de terminaciones es una proyección elaborada por la Constructora AXIS S.A. De cumplirse, habría una mejora considerable en el rendimiento, debido principalmente a la industrialización completa del proceso de terminaciones.

Sin embargo, los métodos de industrialización no sólo mejoran la productividad de las obras, sino que también reducen significativamente la cantidad de residuos generados en la construcción. Estudios comparando obras de construcción tradicional con obras industrializadas, muestran que las obras industrializadas generarían tan sólo el 27% de los residuos generados en la construcción

tradicional. Por lo tanto, el impacto medioambiental de implementar estas medidas tiene un potencial tremendo en nuestro país. Si Chile alcanzara los niveles de industrialización de los países nórdicos, y asumiendo que los procesos industrializados generan sólo un 27% de los residuos generados en los procesos tradicionales, nuestro país podría reducir la cantidad de residuos de la construcción en alrededor de un 18%. Esto es equivalente a 880.000 metros cúbicos menos de residuos de la construcción generados anualmente.

Hallazgo 26. La construcción industrializada se presenta como una oportunidad para reducir la cantidad de residuos generados en la construcción, sin necesidad de aumentar los costos para las empresas, y aumentando su productividad.

Hallazgo 27. Si Chile alcanzara los niveles de construcción industrializada de los países nórdicos, nuestro país podría generar 880.000 metros cúbicos menos de residuos de la construcción anualmente.

Anexo 1: Institucionalidad economía circular en Chile

Dadas las consecuencias que traen consigo el fenómeno del cambio climático, se torna cada vez más relevante la discusión en las políticas públicas nacionales e internacionales sobre cómo abordar este tema para reducir el impacto en la economía, flora y fauna, y bienestar de la población. Dicho esto, en esta sección se presenta una breve reseña sobre las principales políticas públicas nacionales e internacionales que permiten abordar el fenómeno del cambio climático en el sector construcción.

Estrategia Nacional de Construcción Sustentable

El 1 de agosto de 2012 se firmó un convenio marco de colaboración entre el Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Energía y Ministerio del Medio Ambiente para poder coordinar, promover, difundir y fomentar el paradigma de construcción sustentable a nivel nacional. Dentro de este convenio y como resultado del trabajo entre los Ministerios nombrados, se creó la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable. Este instrumento pretende orientar a la creación de los principales lineamientos para impulsar la integración del concepto de desarrollo sustentable en el sector construcción en nuestro país.⁹⁸

Programa Construye 2025

Promovido por CORFO, Construye 2025 es un programa que busca la transformación del sector construcción desde la productividad y la sustentabilidad, produciendo impactos en los ámbitos social, económico y medioambiental. Busca articular los sectores público, privado y académico con el objetivo de lograr una industria sustentable y competitiva a nivel global, enfocada en el desarrollo del país bajo los ejes de: construcción industrializada, construcción sustentable, innovación y mejora continua y transformación digital.

Con el apoyo de diversas universidades del país, las principales entidades privadas asociadas a construcción, ingeniería y arquitectura, así como también algunos organismos públicos, han participado en numerosas iniciativas para avanzar hacia una economía circular en el sector de la construcción. Entre ellas destacan el desarrollo de la Hoja de Ruta de Productividad y Construcción Sustentable, la creación y desarrollo del Consejo de Construcción Industrializada, y la constitución de la Estrategia RCD Sustentable.

Certificación Edificio Sustentable (CES)

La CES es un sistema de certificación voluntario, de origen nacional, producto de un proceso iniciado por el Instituto de Construcción, el Ministerio de Obras Públicas, la Cámara Chilena de la Construcción y el Colegio de Arquitectos, con colaboración económica de Innova CORFO y colaboración técnica de IDIEM. El propósito de la CES se basa en promover el diseño y construcción

⁹⁸ MINVU, 2012. Estrategia Nacional de Construcción Sustentable, Gobierno de Chile.

de edificios sustentables y fomentar un mayor desarrollo de este tipo de proyectos en el mercado nacional⁹⁹.

Este sistema de certificación permite evaluar y calificar el comportamiento ambiental de edificios de uso público en Chile. La certificación puede ser aplicada tanto para proyectos nuevos como para edificios ya construidos, sin diferenciar administración o propiedad pública o privada.

Certificación de Vivienda Sustentable (CVS)

Esta certificación es un sistema de evaluación de viviendas nuevas que analiza distintos aspectos sobre el desempeño ambiental, económico y social, durante las fases de diseño y ejecución. Esta certificación se lanzó oficialmente en mayo de 2020. La CVS permite certificar proyectos de cualquier sistema de agrupamiento, financiamiento o ciudad de Chile, que busquen demostrar medidas de eficiencia superiores a las establecidas en los reglamentos vigentes de construcción.¹⁰⁰

La certificación se compone de 6 categorías:

1. Salud y bienestar: considera calidad del ambiente interior, bienestar espacial, bienestar en operación e innovación.
2. Energía: abarca desempeño energético y equipos energéticamente eficientes.
3. Agua: considera estrategias de abastecimiento y calidad del agua, minimización del consumo desde el diseño, estrategias de reutilización y gestión del agua durante la fase de ejecución
4. Materiales y residuos: se compone de materiales con atributos sustentables, minimización de residuos desde el diseño, diseño de infraestructura para gestión de residuos domiciliarios y gestión de residuos de construcción.
5. Impacto ambiental: abarca temáticas sobre minimización de emisiones a la atmósfera, reducción de impactos en el ecosistema, sustentabilidad social y proceso de diseño integrado.
6. Entorno inmediato: se relaciona con movilidad sustentable y su relación con el entorno inmediato.

La CVS exige requisitos mínimos que, en caso de cumplirse, reciben la etiqueta. Dicho esto, existen tres niveles de certificación que dependen del puntaje obtenido: Certificado (todos los mínimos), Destacado (mínimos + 30 puntos) y Sobresaliente (mínimos + 60 puntos).

Norma ISO 14.001

⁹⁹ <https://www.certificacionsustentable.cl/de-que-trata-esta-certificacion>

¹⁰⁰ Ministerio de Vivienda y Urbanismo. *Manual de aplicación de la Certificación Vivienda Sustentable*, Gobierno de Chile, 2019.

En su tercera versión, tiene como propósito entregar a las empresas un marco de referencia para la protección del medio ambiente, en equilibrio con el cumplimiento de sus necesidades socioeconómicas. Su implementación y certificación demostrará que las actividades productivas de la empresa son llevadas a cabo de acuerdo con los estándares fijados por la norma para la protección del medio ambiente.

Para la obtención de la certificación, la organización debe estudiar e identificar todos los efectos medioambientales derivados de sus actividades productivas y, a partir de estos, establecer una serie de objetivos a cumplir (coherentes y realistas) que son incorporados dentro de un plan de gestión ambiental. Este plan debe incluir también los procedimientos y medidas a aplicar, los responsables de tareas, los requisitos legales aplicables, las actividades de capacitación y la realización de auditorías y revisión continua para asegurar el cumplimiento del plan.

Normativa asociada a los residuos de la construcción

Los residuos generados en las actividades de la construcción deben ser adecuadamente dispuestos, cumpliendo con la normativa vigente. La regulación chilena aplicable al manejo de residuos de obras de construcción es aquella relativa a los residuos industriales y residuos orgánicos¹⁰¹. A continuación, se revisará dicha regulación, según los actores involucrados en el proceso de generación, recolección, transporte y disposición final de los residuos de la construcción (Figura 4).

Figura 4. Actores clave en la generación, transporte y disposición final de los residuos de la construcción.



¹⁰¹ En septiembre de 2019 se aprobó la norma NCh 3562 que define un protocolo sobre la gestión de residuos de la construcción.

Constructora debe tener autorización sanitaria para la acumulación de residuos.

Residuos pueden separarse en obra, pero no es una obligación de la empresa.

Empresa tiene la obligación de trasladar los escombros generados en la obra a lugares autorizados. Este servicio puede ser contratado a terceros.

No existe obligación de valorizar residuos inertes o reciclables.

Obligación de declarar residuos sólidos industriales en RETC

Transportistas deben contar con autorización sanitaria emitida por la Seremi de Salud.

Obligación de declarar al municipio el método de transporte, caracterización y destino final de los residuos transportados.

Multas y sanciones asociadas a la disposición de residuos en sitios no autorizados.

Sitios de disposición final y plantas de tratamiento deben contar con autorización sanitaria emitida por la Seremi de Salud.

Obligación de declarar residuos sólidos industriales en RETC (cuando se reciben más de 12 toneladas anuales).

Fuente: Elaboración propia.

Proceso 1. Generación de residuos de la construcción:

Decreto N°47 de 1992; Fija nuevo texto de la Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones: La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción contiene las disposiciones reglamentarias de la Ley General de Urbanismo y Construcción, regulando el procedimiento administrativo, el proceso de planificación urbana, urbanización y construcción, y los estándares técnicos de diseño y construcción exigibles.

En esta, se establece que se debe deberá solicitar permiso del Director de Obras Municipales respectivo para trabajos de construcción/reparación/demolición, junto a las medidas que deben ser consideradas en estos, tales como: medidas de mitigación de impacto de emisión de polvo y metal, condiciones de aseo, prohibición de depositar elementos de trabajo en la vía pública, antecedentes de emisión de ruidos, la aislación de la obra y la obligación de depositar los escombros en lugares autorizados (incumplimiento con sanción de Juzgado de Policía Local correspondiente).

Decreto Supremo N°594 de 1999; Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo: Establece que, para la acumulación, tratamiento o disposición final de residuos industriales, realizada directamente o mediante contratación de terceros, la empresa generadora deberá contar con la Autorización Sanitaria específica para cada actividad, previo a su inicio¹⁰². En el caso de tercerizar el tratamiento y/o la disposición final de los residuos de la construcción, la empresa constructora deberá presentar también las Autorizaciones

¹⁰² Requiere como antecedentes la descripción de los residuos en términos de características físico-químicas, composición y cantidades, más la identificación del destinatario y el transportista con autorización sanitaria.

Sanitarias del transportista y del gestor final de los residuos¹⁰³. Además, para el caso del tratamiento y la disposición final de residuos, se debe declarar a la Autoridad Sanitaria la cantidad y calidad de los residuos generados¹⁰⁴.

Será responsabilidad de la empresa constructora preocuparse por no ocasionar perjuicios a las personas o propiedades vecinas, preocupándose de que sus residuos sean tratados como corresponde (DS N°47/2004)¹⁰⁵ y que las condiciones de saneamiento y seguridad eviten riesgos de salud de la población (PAS 140)¹⁰⁶.

Ley N°20.879 de 2015; Sanciona el transporte de desechos hacia vertederos clandestinos: Esta Ley agrega artículos nuevos al Decreto con Fuerza de Ley Fuerza de Ley N°1 del Ministerio de Transportes de 2007 (Fija texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley de Tránsito) y señala que, el que encargue el transporte, traslado o depósito de basuras, desechos o residuos de cualquier tipo, hacia o en la vía pública, sitios eriazos, en vertederos o depósitos clandestinos o ilegales, o en los bienes nacionales de uso público, será sancionado. Se aplicará una multa de entre 2 a 100 UTM a quien encargue el traslado o depósito y la misma sanción se aplicará al propietario del vehículo.

Una de las limitaciones que presenta la implementación esta ley es la contienda de competencias, donde diversos Juzgados de Policía Local se inhíben de conocer la materia por cuanto consideran que es competencia del Ministerio Público. Debido, en parte, a la ausencia de una entidad supervigilante de esta Ley, su implementación no ha sido satisfactoria en términos de la fiscalización y aplicación de multas.

Decreto Supremo N°1 de 2013; Aprueba reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC: Define la obligación de declarar en el Sistema Ventanilla Única los residuos sólidos industriales generados y transportados. Establece como Generador de Residuos a los establecimientos que generen anualmente más de 12 toneladas de residuos no sometidos a reglamentos específicos, quienes estarán obligados a declarar al 30 de marzo de cada año sus residuos generados el año anterior; lo mismo con los Destinatarios de residuos, que corresponde a quienes reciben más de 12 toneladas de residuos.

Norma Chilena N° 3562; Gestión de residuos - Residuos de construcción y demolición (RCD) - Clasificación y directrices para el plan de gestión: Con el objetivo de reducir los impactos

¹⁰³ Para los casos de almacenamiento o tratamiento final internamente, la empresa generadora deberá presentar una serie de requisitos que incluyen la planificación y diseño internos para el manejo de residuos.

¹⁰⁴ Los antecedentes requeridos son: identificación de cantidad y composición de residuos, descripción y plano de sitio de almacenamiento, procedimientos de manejo y medidas de control y contingencia.

¹⁰⁵ Define que es responsabilidad del constructor a cargo de una obra que la demolición del edificio no ocasione perjuicios a personas o propiedades vecinas. Los escombros deberán depositarse en lugares autorizados. El incumplimiento será sancionado por Juzgado de Policía Local correspondiente.

¹⁰⁶ El Permiso Ambiental Sectorial 140 aborda la construcción y modificación de plantas de tratamiento, de desperdicios o lugares autorización de acumulación de desperdicios de cualquier clase. Su requisito consiste en que las condiciones de saneamiento y seguridad eviten riesgos de salud para la población, junto con la entrega de una serie de antecedentes técnicos y formales para acreditar su cumplimiento.

ambientales, sociales y económicos de los residuos de la construcción, esta norma entrega directrices para una correcta gestión de RCD, mejorando la productividad de las obras y sus condiciones de seguridad, trabajo y calidad. Esta norma ofrece, por primera vez, una definición jurídica de los residuos de la construcción y demolición (RCD), una clasificación para éstos, las consideraciones mínimas a tener en cuenta para su gestión, y los elementos que debe tener un plan de gestión de RCD para obras de construcción y demolición.

Para las empresas generadoras de RCD, la norma presenta dos obligaciones:

- La empresa constructora deberá tener un plan de gestión de RCD que incluya objetivos medibles, responsables de la gestión en la obra, planificación y asignación de recursos, identificación de RCD y logística para su recolección, y un plan comunicacional y de capacitación de su personal.
- La empresa constructora deberá estimar la generación de RCD del proyecto (en metros cúbicos y toneladas), clasificar sus residuos, tener documentación que acredite entrega de RCD a gestor autorizado por la Autoridad Competente y disponer de documento de control de salida en caso de sacar material de excavación de la obra, identificando emisor, receptor y transportista.

Norma Chilena N°3322; Colores de contenedores para identificar distintas fracciones de residuos:

Esta norma define un color único y elementos visuales de identificación para residuos que son objeto de recogida y almacenamiento en forma segregada, para lograr un adecuado reciclaje. Este sistema de identificación tiene como objetivo facilitar y realizar sin ambigüedades la separación de las diferentes fracciones de residuos por medio de la identificación visual de ellos.

Proceso 2. Transporte de residuos:

Decreto Supremo N° 594 de 1999; Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo: Indica que, para poder prestar servicios a empresas generadoras de residuos, los transportistas deben facilitar la Autorización Sanitaria de transporte de residuos, entregada por la SEREMI de Salud correspondiente. Para obtener dicha autorización, el transportista debe presentar una solicitud de autorización sanitaria para el transporte de residuos industriales peligrosos y/o no peligrosos, una copia de la Iniciación de Actividades del Servicio de Impuestos Internos, y una serie de antecedentes relativos a la actividad de transporte¹⁰⁷.

¹⁰⁷ Específicamente, los antecedentes a presentar son las características de los vehículos, la documentación de éstos, un plan de contingencia con las medidas de prevención de riesgos y control de accidentes, documentos que acrediten pertenencia sobre los vehículos, una lista general de los residuos a transportar, el lugar de lavado de los vehículos, y la capacitación de los conductores.

Decreto Supremo Nº 75 de 1987; Establece Condiciones para el Transporte de Cargas que indica:

Establece que los vehículos que transporten desperdicios, arena, ripio, tierra u otros materiales (sólidos o líquidos), que puedan escurrirse y caer al suelo, estarán contruidos de forma que esto no ocurra. Aquellos que transporten materiales que produzcan polvo (como escombros, cemento, yeso, u otros) deberán estar cubiertos total y eficazmente con lonas, plásticos u otro sistema que impida su dispersión al aire.

Ley Nº20.879 de 2015; Sanciona el transporte de desechos hacia vertederos clandestinos:

Esta ley señala que, el que encargue o realice el transporte, traslado o depósito de basuras, desechos o residuos de cualquier tipo, hacia o en la vía pública, sitios eriazos, en vertederos o depósitos clandestinos o ilegales, o en los bienes nacionales de uso público, será sancionado. La multa será tanto para quien realice el traslado (2-50 UTM) como para el propietario del vehículo (2-100 UTM), y los vehículos y especies que se encuentren en dichas situaciones serán retirados de circulación por Carabineros de Chile. Además, se suspenderá la licencia del conductor y en caso de reincidencia la multa y la suspensión de licencia aumentarán.

Con el objetivo de poder verificar si el depósito de los residuos se realizará en un establecimiento habilitado para ello, a los transportistas de carga sólo se les exigirá que cuenten con el documento tributario pertinente que acredite el origen y destino de su recorrido.

Además, esta ley señala que la persona natural o jurídica que cuente con la autorización para trasladar escombros deberá comunicar por escrito a la municipalidad cuál será la cantidad de metros cúbicos de escombros que se depositarán, su naturaleza y composición, el modo y los medios a emplear en el retiro, el transporte de los mismos y su lugar de destino.

Decreto Supremo Nº1 de 2013; Aprueba reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC:

Se define la obligación de declarar en Sistema Ventanilla Única los residuos generados y transportados. Establece como Generador de Residuos a los establecimientos que generen anualmente más de 12 toneladas de residuos no sometidos a reglamentos específicos, quienes estarán obligados a declarar al 30 de marzo de cada año sus residuos generados el año anterior; lo mismo con los Destinatarios de residuos, siendo quienes reciben más de 12 toneladas de residuos. Para poder declarar por ventanilla única, los transportistas deberán contar con la autorización sanitaria establecida en el Decreto Supremo Nº 594 de 1999.

Proceso 3. Disposición final de los residuos:

Decreto Fuerza Ley Nº725 de 1968; Código Sanitario: Indica que para la construcción, instalación o modificación de un sitio de disposición final de residuos, se debe contar con la autorización previa

del proyecto del SEREMI¹⁰⁸. Este se encargará de fiscalizar, vigilar y determinar las condiciones sanitarias y de seguridad que deben cumplirse para evitar molestia o peligro para la salud de la comunidad o del personal que trabaje en estas faenas.¹⁰⁹

Decreto Supremo Nº594 de 1999; Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo: Este Decreto indica que el generador de residuos requiere de la Autorización Sanitaria del responsable del tratamiento y/o disposición final de éstos, por lo que para cumplir con esta obligación ante la empresa constructora el sitio de disposición final deberá obtenerla. Para obtener dicha Autorización, el responsable del tratamiento y/o disposición final de los residuos deberá presentar ante la SEREMI de Salud una serie de documentos¹¹⁰

Decreto Supremo Nº 189 de 2008; Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios: Esta ley establece los alcances de un relleno sanitario. Lo caracteriza como una instalación de eliminación para residuos sólidos domiciliarios y asimilables, donde son compactados y cubiertos diariamente. Considera y permite dentro de su operación residuos industriales no peligrosos bajo las condiciones de no afectar la operación normal de residuos sólidos domiciliarios ni la estabilidad del relleno sanitario. Sin embargo, explícitamente excluye residuos en estado líquido o con líquidos libres, residuos de demolición, y neumáticos.

Decreto Supremo Nº1 de 2013; Aprueba reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC: Se define la obligación de declarar en Sistema Ventanilla Única los residuos generados y transportados. Establece como Generador de Residuos a los establecimientos que generen anualmente más de 12 toneladas de residuos no sometidos a reglamentos específicos, quienes estarán obligados a declarar al 30 de marzo de cada año sus residuos generados el año anterior; lo mismo con los Destinatarios de residuos, siendo quienes reciben más de 12 toneladas de residuos.

Norma Chilena Nº 3562; Gestión de residuos - Residuos de construcción y demolición (RCD) - Clasificación y directrices para el plan de gestión: Esta norma presenta las siguientes directrices para los gestores de RCD, respecto de los sitios de tratamiento y/o disposición final: acreditar la autorización de operaciones en lugar de disposición final o valorización entregada por la Autoridad Competente; adjuntar el certificado de recepción de RCD emitido por receptor de residuos,

¹⁰⁸ La instalación requerirá también del Permiso Ambiental Sectorial 140, el cual exige el cumplimiento de los elementos señalados además de una serie de requisitos técnicos y formales respecto a la caracterización del sitio y los distintos planes a aplicar.

¹⁰⁹ En el texto de este DFL la responsabilidad es asignada al Servicio Nacional de Salud; sin embargo, la Ley Nº19.937 de 2004 transfiere estas responsabilidades a las SEREMIs.

¹¹⁰ Los requisitos incluyen: la persona natural o jurídica responsable de la actividad; el tipo de solicitud (aprobación de proyecto o autorización sanitaria); persona encargada de residuos; el tipo de tratamiento se realizará; dimensiones y horarios; tipos de residuos a recibir y capacidad; certificación de flujos de agua de entrada y salida y de electricidad; planos, procedimientos y planes; registros de capacitación; la ubicación y la zonificación pertinente emitida por la dirección de obras de la municipalidad.

indicando volumen y peso de estos; y disponer de documento de control de salida de residuos no peligrosos, identificando obra atendida, receptor y transportista.

Otras iniciativas nacionales

Estado Verde – MMA

Programa de acreditación lanzado en Mayo de 2019, cuyo objetivo es incorporar buenas prácticas ambientales en el quehacer diario de los órganos estatales. A través de un proceso de acreditación, las entidades suscriptoras deben desarrollar distintas medidas de sostenibilidad interna. Los objetivos principales se enfocan en Eficiencia, Carbono neutralidad y Educación y capacitación.

Actualmente estarían inscritas alrededor de 30 instituciones estatales, incluyendo aproximadamente a 12.000 funcionarios. Sin embargo, la fuerza laboral del sector público es del orden de 440.000 funcionarios, por lo que el impacto del programa es aún marginal. Se espera que para el 2022 estén inscritos 140 organismos estatales, y para 2025 este número ascienda a 505. En caso de cumplirse esto, los impactos serían los siguientes:

Tabla 3. Impactos esperados del programa Estado Verde hacia 2025

Recurso	Consumo actual anual	Equivalencia	Objetivo
Electricidad	355.253.600 kWh o 120.000 ton CO ₂ eq aprox.	6.040 camiones de 20 ton	Reducción en 10%
Agua	4.440.670 m ³	1.860 piscinas olímpicas	Reducción de 22%
Resmas de papel	4.884.773 resmas	305.296 árboles	Reducción de 30%
Dinero	U\$51 MM		Ahorro de U\$30 MM

Fuente: Estado Verde, MMA

Huella Chile – MMA

Es un programa lanzado en 2014 que busca fomentar el cálculo, reporte y gestión de GEI en organizaciones del sector público y privado. HuellaChile reconoce proveer de tres factores relevantes, como tener una herramienta de cálculo de emisiones GEI disponible en línea de manera gratuita, contar con apoyo técnico que capacita a organizaciones para utilizar la herramienta y establecer niveles de reconocimiento o certificación.

Si bien hay empresas de distintos rubros económicas que están registradas en el programa, se estima que el total de organizaciones registradas solo corresponderían al 1% de las empresas presentes en el país. Esto es de especial preocupación considerando que es un programa que lleva más de 5 años en marcha.

Anexo 2. Acciones y oportunidades para la economía circular en el sector de la construcción, Fundación Ellen MacArthur.

Línea de acción	Acciones para implementar una economía circular	Impacto potencial
Regenerar	Uso de elementos biológicos en la arquitectura	Bajo
Regenerar	Devolver los materiales orgánicos de la construcción a la biosfera	Bajo
Share	Compartir los espacios residenciales y de oficina	Alto
Share	Aumentar el uso de edificios con tasas de utilización bajas (oficinas multipropósitos, reacondicionamiento de interiores de edificios para aumentar la vida útil de éstos)	Alto
Optimize	Coordinación de los actores claves del ecosistema para reducir los residuos estructurales	Alto
Optimize	Optimización del uso de energía por medio de edificios y casas con bajo consumo energético	Alto
Loop	Aumentar la reutilización y reciclaje de materiales de construcción de alto valor, por medio de diseñar edificios para su desmontaje	Alto y priorizado
Loop	Aumentar la reutilización y reciclaje de materiales de construcción de alto valor, mediante nuevos modelos de negocios	Alto y priorizado
Loop	Aumentar la reutilización y reciclaje de materiales de construcción de alto valor, usando pasaportes de materiales de los edificios	Alto y priorizado
Virtualise	Aumentar el teletrabajo para reducir las necesidades de oficina	Medio
Exchange	Producción modular fuera de sitio para montaje rápido en el sitio de construcción (industrialización)	Muy alto y priorizado
Exchange	Impresiones 3D de componentes de edificios	Muy alto y priorizado

Anexo 3. España en la Gestión de RCD

España destaca por la adaptación e implementación hecha para la Directiva Europea 2006/12/CE para residuos con el Real Decreto 105/2008. Este RD regula la producción y gestión de RCD, aplicando la jerarquía de tratamientos de pirámide invertida y dando lineamientos para la mejora del sector construcción.

Este Decreto exige que los proyectos tengan un correcto Estudio de Gestión de RCD (de carácter contractual), incluyendo elementos cuantitativos, de planificación y preventivos respecto a la generación de los residuos. También obliga la separación de residuos dentro de la obra (cuando materiales por tipo superan pesos determinados). En el caso de esto no ser técnicamente viable por falta de espacio, podrá tercerizarse con un gestor de residuos para realizar el proceso fuera de obra, contando con la acreditación necesaria de cumplimiento. Luego de un periodo de adaptación, esta legislación se hizo obligatoria para todo RCD.

El modelo utilizado para cuantificar y tipificar los residuos usa el mismo código de clasificación que los ingenieros de edificación de España, ha sido probado con éxito en una serie de otras implementaciones y es incorporado al modelo Alcores de bucle cerrado. Este último se basa en el principio de “el que contamina paga” y bajo esta idea fija una fianza para asegurar la correcta gestión de los residuos por parte del generador, considerando las distintas características del proyecto y siendo proporcional al volumen de RCD estimado.

Las plantas de tratamiento autorizadas reciben los RCD de la obra para la separación de residuos inertes y su trituración, obteniendo distintos tamaños de áridos reciclados. Terminada la obra, la empresa encargada debe solicitar un certificado de correcta gestión por parte de la planta de tratamiento; este se obtendrá si la cantidad enviado coincide con lo declarado en la fianza, siendo esto un incentivo para la reducción del material llevado a tratamiento y la reducción de vertidos ilegales.¹¹¹

¹¹¹ Estudio: “Caracterización de residuos de la construcción, 1ª etapa: Desarrollo, validación y calibración de metodología, aplicado a casos piloto”, Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción, Universidad del Bío-Bío

Bibliografía

Acuña, H., Easton, P., Ramos, C. & Torres, C. (2019). El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global. *Cámara Chilena de la Construcción*. Fundamenta, 45, 35.

3ipe (2018) Informe de análisis de Deflexiones Calle de Rodaje Alfa, para Bitumix

Acuña, H., Easton, P., Ramos, C. & Torres, C. (2019). El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global. *Cámara Chilena de la Construcción*. Fundamenta, 45, 35.

Adalberth K, Almgren A, Peterson EH. (2001). Life-cycle assessment of four multifamily buildings. *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*; 2:1–21.

Aldana & Serpell (2012), Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: un metaanálisis

Andújar y Navarro. Áridos para la construcción: Qué son y para qué se usan. Andújar y Navarro Sitio web: <https://andujarynavarro.com/novedades/aridos-la-construccion-se-usan/>

Arena AP, Rosa Cde. (2003). Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservative technologies in school building in Mendoza-Argentina. *Building and Environment*; 38:359–68

ASOCEM. (2016). El proceso de fabricación del cemento. ASOCEM Sitio web: <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Plantilla%20Fabricacion%20del%20cemento.pdf>

Becqué, R. et al (2016). Accelerating Building Efficiency: Eight Actions for Urban Leaders. World Resources Institute

Bernstein, H.M. and Russo, M.A. (2010). Business Case for Energy Efficient Building Retrofit and Renovation. McGraw Hill Construction SmartMarket Reports

Blanco, M.. (2019). Devolución de impuestos por créditos hipotecarios 2019. Julio 2020, de Rankia Sitio web: <https://www.rankia.cl/blog/sii/4221901-devolucion-impuestos-por-creditos-hipotecarios-2019>

Boletín 12.058-08 del 3 de Septiembre de 2018: Sobre eficiencia energética

Boletín 13.179-09 del 8 de Enero de 2020: Proyecto de ley que establece normas de eficiencia hídrica y adaptación al cambio climático.

Boletín Oficial del Estado: Real Decreto 1481/2001 de España

BREEAM ES. BREEAM® Internacional. BREEAM Sitio web: <http://www.breeam.es/conocenos/breeam-internacional>

Buchanan A, Levine B. (1999). Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. *Environmental Science & Policy*; 2:427–37.

Bunster, V., Bustamante, W., (2020). Inventario de materiales de construcción en Chile: Metodología y resultados. Síntesis de Investigación No8. Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, Santiago.

Bustamante, W. (2013) «Actualización Reglamentación Térmica de Viviendas. Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones». Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Bustamante, W. y Encinas F. (2012) «Parámetros de Diseño y Desempeño Energético en edificios de clima mediterráneo». Arq – Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Chile. (82):20-23.

Bustamante, W., Encinas F., Otarola R.; Pino A. (2012). «Análisis de estrategias para confort térmico y lumínico de edificios en diferentes climas de la zona central de Chile.» ARQ Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Chile. (82):16-19. (Santiago) (82).

Bustamante, W., Vera, S., Prieto, A. and Vasquez, C. (2014) «Solar and Lighting Transmission through Complex Fenestration Systems of Office Buildings in a Warm and Dry Climate of Chile». Sustainability, Vol. 6, No 5, 2786-2801.

Cabrera, F. & Sielfeld, R. (2008). Caracterización del consumo energético y agua sanitaria en edificios de oficinas de Santiago. Santiago, Universidad de Chile.

Calificación Energética. (2014). Calificación Energética de Viviendas. , de Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile Sitio web: <https://www.calificacionenergetica.cl/media/Calificacion-Energetica-de-Viviendas.pdf>

Cámara Chilena de la Construcción, Índice de despacho de Hormigón

Carmona, F. (2010). Cuantificación de la energía consumida en la construcción de 4 edificios habitacionales de altura media en la ciudad de Santiago. CDT, Cámara Chilena de la Construcción.

Catastro del Ministerio de Medio Ambiente (2017)

CBRE. (2009) Who pays for green? The economics of sustainable buildings. EMEA Research.

CDT (2011). Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile. Cámara Chilena de la Construcción.

CDT (2015). Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera. , Cámara Chilena de la Construcción.

CDT (2020), Informe Asesoría Técnica - Levantamiento Valorización de Residuos

CDT (2015). Guía Desarrollo Sustentable de Proyectos Inmobiliarios. Cámara Chilena de Construcción.

Centro de Estudios Tributarios. (2014). Crédito especial para empresas constructoras (CEEC). Julio 2020, Universidad de Chile. Sitio web: https://www.cetuchile.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=1524:credito-especial-para-empresas-constructoras-ceec&catid=143:reporte-tributario-no56-diciembre-2014-&Itemid=230

Centro de Investigación de Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío (2017), Estudio “Caracterización de residuos de la construcción, 1º etapa: Desarrollo, validación y calibración de metodología, aplicado a casos piloto”

Certificación Edificio Sustentable. ¿DE QUÉ TRATA ESTA CERTIFICACIÓN? Certificación Edificio Sustentable. Sitio web: <https://www.certificacionsustentable.cl/de-que-trata-esta-certificacion>

Chatham House (2018). Making Concrete change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete.

Comisión Nacional de Energía (2018). Anuario Estadístico de Energía 2018. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile.

Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (2020). Contribución determinada a nivel nacional: Actualización 2020. Gobierno de Chile.

Construction and Demolition Recycling

Constructora PACAL S.A. (2020). Capítulo 3: Plan de cumplimiento de la legislación ambiental vigente. En Declaración de Impacto Ambiental Proyecto “Condominio Piedra de Río Constructora Pacal S.A (22). Servicio de Evaluación Ambiental.

Decreto Supremo N° 1, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Diario Oficial de 6 de Junio de 2011, que aprueba reglamento del Sistema Integrado de Subsidio Habitacional

Decreto Supremo N° 1, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 2 de Mayo de 2013, que fija los reglamentos del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, RETC.

Decreto Supremo N° 4, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 22 de Febrero de 2017, que establece plan de descontaminación atmosférica para la Comuna de Los Ángeles

Decreto Supremo N° 6, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 25 de Enero de 2018, que establece plan de prevención y de descontaminación atmosférica para las Comunas de Concepción Metropolitano

Decreto Supremo N° 7, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 17 de Julio de 2019, que establece plan de descontaminación atmosférica para la Ciudad de Coyhaique y su zona circundante

Decreto Supremo N° 8, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 17 de Noviembre de 2015, que establece plan de descontaminación atmosférica por MP2,5 para las Comunas de Temuco y Padre las Casas. Actualización del plan de descontaminación por MP10, para las mismas comunas

Decreto Supremo N° 10, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Diario Oficial de 21 de Octubre de 2015, que aprueba reglamento del Programa de Habitabilidad Rural

Decreto Supremo N° 15, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 5 de Agosto de 2013, que establece plan de descontaminación atmosférica para el Valle Central de la Región del libertador general Bernardo O'higgins

Decreto Supremo N° 19, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Diario Oficial de 14 de Julio de 2016, que reglamenta Programa de Integración Social y Territorial, y modifica DS N° 1, de 2011, Reglamento del Sistema Integrado de Subsidio Habitacional

Decreto Supremo N° 25, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 23 de Junio de 2017, que establece plan de descontaminación atmosférica para la Comuna de Valdivia

Decreto Supremo N° 31, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 11 de Febrero de 2013, que establece los reglamentos del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental.

Decreto Supremo N° 31, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 24 de Noviembre de 2017, que establece plan de prevención y descontaminación atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago

Decreto Supremo N° 38, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 30 de Agosto de 2017, que establece plan de prevención y descontaminación atmosférica para la localidad de Huasco y su zona circundante

Decreto Supremo N° 40, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 12 de Agosto de 2013, que aprueba reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Decreto Supremo N° 44, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 10 de Octubre de 2017, que establece plan de descontaminación atmosférica para el Valle Central de la Provincia de Curicó

Decreto Supremo N° 47, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 28 de Marzo de 2016, que establece plan de descontaminación atmosférica para la Comuna de Osorno

Decreto Supremo N° 48, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 28 de Marzo de 2016, que establece plan de prevención y descontaminación atmosférica para las Comunas de Chillán y Chillán viejo

Decreto Supremo N° 49, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Diario Oficial de 26 de Abril de 2012, que aprueba reglamento del Programa Fondo Solidario de Elección de Vivienda. Texto reemplazado por el DS N° 105, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Diario Oficial de 20 de Marzo de 2015

Decreto Supremo N° 49, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 28 de Marzo de 2016, que establece plan de descontaminación atmosférica para las Comunas de Talca y Maule

Decreto Supremo N° 52, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Diario Oficial de 22 de Noviembre de 2013, que aprueba reglamento del Programa de Subsidio de Arriendo de vivienda

Decreto Supremo N° 59, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 26 de Diciembre de 2014, que establece plan de descontaminación atmosférica para la localidad de Andacollo y sectores aledaños

Decreto Supremo N° 70, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Diario Oficial de 12 de Octubre de 2010, que establece plan de descontaminación atmosférica para la Ciudad de Tocopilla y su zona circundante

Decreto Supremo N° 100, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Diario Oficial de 22 de Septiembre de 2005, que fija el Texto Refundido, Coordinado y Sistematizado de la Constitución Política de la República de Chile.

Decreto Supremo N° 105, del Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de 27 de Diciembre de 2018, que aprueba plan de prevención y descontaminación atmosférica para las Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví

Decreto Supremo. N° 120, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Diario Oficial de 22 de Noviembre de 2013, que aprueba reglamento del Programa de Subsidio de Arriendo de vivienda

Decreto Supremo N° 255, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Diario Oficial de 25 de Enero de 2007, que reglamenta Programa de Protección del Patrimonio Familiar

Deloitte (2017). Resource Efficient Use of Mixed Wastes, Improving management of construction and demolition waste.

DGNB System. Vorteile für alle. DGNB System Sitio web: <https://www.dgnb-system.de/de/zertifizierung/vorteile/>

Dobbs et al. (2011), Resource revolution: Meeting the world's energy, materials, food, and water needs, McKinsey Global Institute

Eficiencia de los Recursos para el Desarrollo Sostenible: Mensajes Clave para el Grupo de los 20 (2018), UNEP e IRP

Ekins, P., Hughes, N., et al. (2017), Resource Efficiency: Potential and Economic Implications. A report of the International Resource Panel, UNEP

Ellen MacArthur Foundation (2015) – Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe

Ellen MacArthur Foundation (2018), The Circular Economy Opportunity for Urban & Industrial Innovation in China

Fissore, A. & Colonelli, P. (2013). Evaluación Independiente del Programa de Reacondicionamiento Térmico. Informe Final. ARQEnergía & Enersolutions.

Fritz, A. (2016). Unidad 1: La madera. En La construcción de viviendas en madera (117). Chile: Centro de Transferencia Tecnológica de la CORMA. p.13. <https://www.madera21.cl/wp-content/uploads/2016/11/Cap%C3%ADtulo-1.La-construccion-de-viviendas-en-madera-completo-sin-introducci%C3%B3n-5.pdf?x33378>

Fullbrook, D. & Jackson, Q. (2006) Value case for sustainable building in New Zealand. Ministry for the Environment.

Gallardo, L., Basoa, K., Tolvett, S., Osses, M., Huneus, N., Bustos, S., Barraza, J., Ogaz, G. (editores) (2020), Mitigación de carbono negro en la actualización de la Contribución Nacionalmente Determinada de Chile: Resumen para tomadores de decisión. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia para el Ministerio del Medio Ambiente a través de Programa de las Naciones Unidas para

el Medio Ambiente (PNUMA) y la iniciativa Supporting National Action and Planning on Short-Lived Climate Pollutants (SNAP), 32 pp. Disponible en: <http://www.cr2.cl/carbononegro/>

Gao W, et al. (2001) Energy impacts of recycling disassembly material in residential buildings. *Energy and Buildings*; 33:553–62.

Garg, A., Kazumari, K. & Pulles, T. (2006). Volume 1: Introduction. En 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (29).

Garg, A., Kazumari, K. & Pulles, T. (2006). Volume 2: Stationary Combustion. En 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (47).

Garg, A., Kazumari, K. & Pulles, T. (2006). Volume 3: Mobile Combustion. En 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (78).

Gervasio, H. and Dimova, S. (2018). Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings, EUR 29123 EN, Publications Office of the European Union.

Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency and the United Nations Environment Programme (2018). 2018 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector.

Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency and the United Nations Environment Programme (2019). 2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector.

Global Construction Perspectives and Oxford Economics. 2013. “Global Construction 2025: A Global Forecast for the Construction Industry to 2025.” <http://www.globalconstruction2025.com/>

Gomez, S. (2008). “Is the Client Willing to Pay to Occupy a Greener Building?” Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings Conference.

González, M.J; García Navarro, J. (2006). Assessment of the Decrease of CO2 Emissions in the Construction Field through the Selection of Materials: Practical Case Study of Three Houses of Low Environmental Impact. *Building and Environment* 41(7): 902–9.

Goubran, S. (2019). On the Role of Construction in Achieving the SDGs. *J Sustain Res.* 2019;1:e190020. <https://doi.org/10.20900/jsr20190020>

Goverse T, et al. (2001). Wood innovation in the residential construction sector; opportunities and constraints resources. *Conservation and Recycling*; 34:53–74.

HOLCIM Colombia. Proceso de fabricación del cemento. De HOLCIM Colombia Sitio web: <https://www.holcim.com.co/productos-y-servicios/cemento/proceso-de-fabricacion-del-cemento>

Huang, L., Krigsvoll, G., Johansen, F., Liu, Y. & Zhang, X. (2018). Carbon emission of global construction sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1906-1916.

ICH & FICEM (2019). Hoja de Ruta Chile Industria del Cemento: Hacia una economía baja en carbono.

In-Data SpA, CDT (2019). Informe final de usos de la energía de los hogares Chile 2018. Cámara Chilena de la Construcción.

Inmobiliaria Ictinos. (2019). Conoce los beneficios de comprar una vivienda DFL2. Julio 2020, de Inmobiliaria Ictinos Sitio web: <https://www.ictinos.cl/conoce-los-beneficios-de-comprar-una-vivienda-dfl2/>

Instituto de la Construcción (2006). Manual de aplicación Reglamentación Térmica, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Artículo 4.1.10, 2006.

Instituto de la Construcción. Listado de Normas DS10 2007 MINVU. Sitio web http://normativaconstruccion.cl/normas_tecnicas/Listado_de_Normas_DS10_2017.pdf

Instituto de la Construcción. Listado de Normas DS47 MINVU. Sitio web http://normativaconstruccion.cl/normas_tecnicas/Listado_de_Normas_OGUC.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas (2019)

International Energy Agency (2018). Energy Policies beyond IEA Countries: Chile. OECD.

IPCC (2018). Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].

IPSOS (2019). Climate and Public Opinion International Observatory 2019.

ISO, ISO 14040 (1997). Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. International Organisation for Standardization; 1997

Kats, G. (2003) “Green Buildings Costs and Financial Benefits.” Boston: Massachusetts Technology Collaborative.

Kats, G. (2010) “Greening Our Built World: Costs, Benefits and Strategies.” Washington D.C.: Island Press.

Ley 19.300. Ley de Bases Generales del Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente.

Lucon O., D. Urge-Vorsatz, A. Zain Ahmed, H. Akbari, P. Bertoldi, L. F. Cabeza, N. Eyre, A. Gadgil, L. D. D. Harvey, Y. Jiang, E. Liphoto, S. Mirasgedis, S. Murakami, J. Parikh, C. Pyke, and M. V. Vilarino, (2014). Buildings. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlomer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Lucuik, M., Trusty, W., Larsson, N. & Charette, R. (2005) A Business Case for Green Buildings in Canada. Ottawa: Morrison Hershfield.

Mapp, C., Nobe, M.C. & Dunbar, B. (2011) The Cost of LEED – An Analysis of the Construction Costs of LEED and Non-LEED Banks. Journal of Real Estate. Vol. 3 No.1, pp. 254-273

Material Economics (2018), The Circular Economy - a Powerful Force for Climate Mitigation.

Matthiessen, L.F. & Morris, P. (2004) “Costing Green: A Comprehensive Cost Database and Budgeting Methodology.” Davis Langdon.

Matthiessen, L.F. & Morris, P. (2007) “Cost of Green Revisited: Reexamining the Feasibility and Cost Impact of Sustainable Design in the Light of Increased Market Adoption.” Davis Langdon.

Melón, Guía para la selección y control de áridos para hormigones

Miller, S., Horvath, A. & Monteiro, J. (2018). Impacts of booming concrete production on water resources worldwide.

Ministerio de Bienes Nacionales (2019)

Ministerio de Medio Ambiente (2014). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2017 – 2022. Gobierno de Chile

Ministerio de Obras Públicas, Dimensionamiento y Características de la Red Vial Nacional

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2019), Informe Diagnóstico sobre Infraestructura RCD en Chile

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2019). Manual de aplicación de la Certificación Vivienda Sustentable, Gobierno de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile serie 1990-2016. Santiago, Chile.

Ministerio del Medio Ambiente. Planes de descontaminación atmosférica. Gobierno de Chile. Extraído de <https://ppda.mma.gob.cl/>

MINVU (2012). Estrategia Nacional de Construcción Sustentable, Gobierno de Chile.

MINVU (2014). Estrategia Nacional de Construcción Sustentable. Gobierno de Chile. Extraído de http://csustentable.minvu.cl/wp-content/uploads/2014/11/Estrategia-Construccion-Sustentable_ENERO-2014_VF_Baja.pdf

Mithraratne N, Vale B. (2004). Life cycle analysis model for New Zealand houses. Building and Environment; 39:483–92.

Muñoz, J. C., Barton, D. Frías, A. Godoy, W. Bustamante, S. Cortés, M. Munizaga, C. Rojas y E. Wagemann (2019) Ciudades y cambio climático en Chile: Recomendaciones desde la evidencia científica. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Nejat, P., F. Jomehzadeh, M. M. Taheri, M. Gohari, and M. Z. Muhd. (2015). «A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries), » *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 843–862.

OECD (2019), *Waste management and circular economy in selected OECD countries: Evidence from Environmental Performance Review*

ONU Chile. (2016). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. ONU Chile Sitio web: <http://www.onu.cl/es/sample-page/odm-en-chile/>

Ossio (2018), *Cuantificación Económica de los Residuos de Construcción de una Edificación en Altura: Un Caso de Estudio*

Passivhaus Chile. ¿Qué es Passivhaus. Passivhaus Chile Sitio web: http://passivhaus-chile.cl/#Que_es

Petersen A, Solberg B. (2002). Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. *Environmental Science & Policy*; 5: 169–82.

Powering Climate Action: Cities as Global Changemakers, which also covers this topic in greater detail. http://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/295_Powering_Climate_Action_Full_Report.original.pdf

Quartermaine, R. et al. (2012) *Costing Energy Efficiency Improvements in Existing Commercial Buildings*. London; Investment Property Forum.

Rajat Agarwal, Shankar Chandrasekaran, and Mukund Sridhar (2016), *Imagining construction's digital future*.

Reistock. (2018). ¿Qué es el DFL2?. Julio 2020, de Reistock Sitio web: <https://blog.reistock.com/2018/12/03/que-es-el-dfl-2/>

Resolución Exenta N°223, de 2015, Ministerio del Medio Ambiente. Fija los procedimientos generales para la elaboración de plan de seguimiento de variables ambientales, informes de seguimiento ambiental y remisión de información al sistema electrónico de seguimiento ambiental.

Resolución N°1518, Ministerio del Medio Ambiente. Establece las bases de los Procedimientos Administrativos que Rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado, indicando a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Servicio de Evaluación Ambiental (2019). *Guía para la descripción de proyectos inmobiliarios en el SEIA*. Gobierno de Chile.

Sharma, A., Saxena, A., Sethi, M. & Shree, V. (2011). Life cycle assessment of buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 871-875.

SII. (2009). PREGUNTAS FRECUENTES. ¿Existe algún tope para usar el crédito especial de empresas constructoras?. Julio 2020, de SII Sitio web: http://www.sii.cl/preguntas_frecuentes/iva/001_030_5997.htm

SII. (2017). Rebaja de Intereses por Dividendos Hipotecarios. Julio 2020, de SII Sitio web: <http://www.sii.cl/destacados/renta/2017/beneficiosdividendo017.html>

Steven Winter Associates. (2004) LEED Cost Study. Final Report. Submitted to U.S. General Services Administration.

Subsecretaría de Evaluación Social (2020). Precios Sociales 2020. Ministerio de Desarrollo Social y Familia, Gobierno de Chile.

Subsecretaría de Transportes (2009). Análisis Económico del Transporte de Carga Nacional. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Gobierno de Chile.

The Hitch Hiker's Guide to LCA, Hanrikke Baumann, Anne-Marie Tillman

Thormark C. (2000). Environmental analysis of a building with reused building materials. International Journal of Low Energy & Sustainable Building Available at <http://www.byv.kth.se/avd/byte/leas/>.

Thormark, C. (2006). The Effect of Material Choice on the Total Energy Need and Recycling Potential of a Building. Building and Environment 41(8): 1019–26.

Trusty, W. & Meil, K.. (2000). Building Life Cycle Assessment: Residential Case Study. De ATHENA Sustainable Materials Institute, Canadá Sitio web: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.504.7004&rep=rep1&type=pdf>

UN (2018), Inclusive Wealth Report 2018

United Kingdom Government, Landfill Tax rates

Uribe, D., Bustamante, W., Vera, S. (2018). Potential of perforated exterior louvers to improve the comfort and energy performance of an office space in different climates. Building Simulation 11 (4): 695-708.

Uribe, D., Vera, S., Bustamante, W., McNeil, A., Flamant, G. (2019). Impact of different control strategies of perforated curved louvers on the visual comfort and energy consumption of office buildings in different climates. Solar Energy, Volumen 190, 495-510.

Vera, S., Uribe, D., Bustamante, W., Molina, G. (2017). Optimization of a fixed exterior complex fenestration system considering visual comfort and energy performance criteria. Building and Environment. 2017. Vol. 113. 163–174.

Viconsá Constructora, Informe de cierre Manejo de residuos y Medio Ambiente en obra Pacific Blue Waste and Resources Action Programme (WRAP), Waste reduction potential of offsite volumetric construction.

World Business Council for Sustainable Development (2018), Scaling the Circular Built Environment: Pathways for business and governments

World Business Council for Sustainable Development and ICLEI. (2015). Innovative City-Business Collaboration. <http://www.wbcsd.org/innovative-city-business-collaborationreport-case-studies.aspx>.

World Economic Forum (2016), Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology

World Green Building Council (2013). The Business Case for Green Building. A review of the Costs and Benefits for Developers, Investors and Occupants.

World Green Building Council. What is green building? World Green Building Council Sitio web: <https://www.worldgbc.org/what-green-building>

WWF (2018). A blueprint for a climate friendly cement industry.

Your Home: Australia's Guide to Environmentally Sustainable Homes. www.yourhome.gov.au (página 206 101 reglas básicas para edificios y ciudades sostenibles)