

Aplicación de la Economía Circular en la Construcción (ECC). Etapas de obra gruesa para la reducción de residuos en obra de hormigón armado.

Estudiante: Sofía Hafon Merino
Profesor guía: José Ignacio Torres

Resumen

Se realizó una investigación sobre el impacto que tiene la economía circular en la construcción en hormigón armado, ya que es un material muy utilizado actualmente en Chile. Además, en el país no se le da la relevancia al manejo de residuos de construcción y demolición en la fase de obra gruesa a tal punto que las empresas destinan un monto de dinero a gastar para transportar esta cantidad de residuos a un vertedero, ya sea legal o ilegal, lo que impacta directamente al ambiente. Por lo anterior, se analiza, a partir de los criterios de la economía circular, cómo tratar los residuos en obra favorece la reducción de gases contaminantes, mediante la utilización de revisión bibliográfica y casos de estudio. De lo anterior, se obtuvieron unos resultados por volumen de residuos generados por área construida (m^3/m^2), donde en el primer caso se produjo $0,19 m^3/m^2$, en el segundo caso $0,2 m^3/m^2$ y para el tercer caso $0,14 m^3/m^2$ construido, los que son comparados entre ellos, teniendo como resultado que el caso prefabricado genera menos residuos que las construcciones convencionales en hormigón armado. Lo que se traduce cómo el tipo de construcción y el manejo del material es importante para la reducción de RCD en obra.

Palabras clave: Economía Circular, Construcción, Hormigón armado, Obra gruesa, Residuos, Sustentabilidad.

1. Introducción

La sociedad actual se encuentra en una época donde es imperativo el control de los principales gases de efecto invernadero como “CO₂ e hidrofluorocarbonos” (Fernando, Bernath y Boone, 2019) pues son responsables de la aceleración del cambio climático al provocar un aumento en la temperatura promedio del planeta. El 2019 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) informó a través de su informe especial que el cambio climático y calentamiento global actualmente sí tienen incidencia en las personas y ecosistemas de todo el mundo, y se asevera que las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de actividades humanas son la causa fundamental del calentamiento mundial y continúan en aumento sostenido.

Actualmente a nivel mundial el sector de la construcción es responsable del “39% de las emisiones de CO₂ relacionadas. De estas emisiones, el 28% se asocia a la etapa de operación” (CDT, 2020, p.14). De lo anterior, el sector de obra gruesa y de terminaciones son la principal fuente emisora de CO₂, como ejemplifican Ossio, Valderrama y Bravo (2019), en una edificación de 21 pisos se llega a generar respectivamente 544,79 y 1949,37 m³ de residuos.

“A nivel nacional, el 22,8% de las emisiones totales se asocian a la industria de la construcción.” (CDT, 2020, p.14). Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) son “fundamentalmente de origen pétreo y cerámico (aproximadamente el 75%) con presencia importante de otros materiales.” (Hidalgo, 2018, p.40) y en Chile se genera mucho más RCD, 0,26 m³ por metro cuadrado construido, que en países desarrollados, con 0,14 m³/m² construido (Ossio, 2019). Es por todo lo anterior que esta investigación será entorno a la etapa de obra gruesa, al ser un material que genera alta contaminación en todo su proceso, ya que “la producción de cemento forma parte del sector económico Industria (industry) el cual es responsable del 21% de emisiones directas y del 11% de las emisiones indirectas de GEI.” (ICH, 2019, p. 24)

Lo anterior es causado por el modelo económico lineal que se emplea actualmente y es el de producir, utilizar y eliminar, lo cual es empleado en las construcciones con los RCD los que producen grandes impactos medioambientales, agudizados por la aparición de microbasurales y vertederos ilegales, y más de un 20% de estos RCD no tienen un lugar de disposición legal específico en la región donde se generaron (Ossio, 2021).

Una importante solución a este problema es la utilización de los principios de la Economía Circular (EC), que se basa en los principios de diseño de desechos y contaminación, mantenimiento de productos y materiales en uso y regeneración de sistemas naturales (Fundación Ellen MacArthur, 2017a). En la construcción, este modelo “utiliza y optimiza los stocks y flujos de materiales, energía y residuos, haciendo hincapié en la eficiencia en el uso de los recursos.” (Martínez, 2021).

“Es importante destacar que, durante la última década, los departamentos casi han triplicado su importancia relativa en el sector residencial” (CChC, 2019, p. 15) y la ubicación de estas viviendas en la Región Metropolitana “entre enero y febrero, 74% de estas corresponden a departamentos y 52% se concentran en comunas más próximas al centro de la ciudad.” (CChC, 2019, p. 18). Es por lo anterior, que la presente investigación se enfocará en esta región, al poseer mayor número de viviendas en altura. Además, se genera un enfoque hacia este tipo de vivienda, ya que al ser una

tipología que densifica la población requiere de mayor consumo de recursos para poder crear el sector residencial.

Por todo lo anterior, el trabajo busca responder cuáles serían los criterios más importantes de la EC, para la etapa de obra gruesa, en la reducción de residuos de construcción de viviendas en altura y con ello se espera que, mediante la aplicación de la EC en las planificaciones de construcción ya existentes, se podrá generar una disminución del CO₂ a través de la reducción de los residuos de construcción en la etapa obra gruesa de hormigón armado. Esto con el objetivo de analizar, a partir de los criterios de economía circular, cómo favorece a la reducción de gases contaminantes tratando los residuos producidos en obra, para que con esto se pueda reducir los gases de efecto invernadero que se producen en la construcción y las grandes cantidades de residuos y potenciales vertederos que se generan por la obra de diferentes tipos de infraestructura, por el uso del sistema de economía lineal, siendo la más crítica el sector de vivienda en altura, ya que cada año se van construyendo más esta tipología, como se mencionó anteriormente. Si se aplica la EC en este tipo de construcción y en una de las etapas más crítica de ésta, sería beneficioso para el planeta y el ser humano al poder reducir los residuos y con esto los vertederos.

2. Antecedentes

2.1. Economía Circular

La economía circular busca aprovechar al máximo los distintos tipos de productos que hay en el mercado cosa que la cantidad que se desperdicie o se deseche sea el mínimo. También,

“busca redefinir qué es el crecimiento, con énfasis en los beneficios para toda la sociedad. Esto implica disociar la actividad económica del consumo de recursos finitos y eliminar los residuos del sistema desde el diseño. Respaldada por una transición a fuentes renovables de energía, el modelo circular crea capital económico, natural y social y se basa en tres principios:

- *Eliminar residuos y contaminación desde el diseño.*
- *Mantener productos y materiales en uso.*
- *Regenerar sistemas naturales.” (Fundación Ellen MacArthur, 2017b)*

2.2. Aplicada en la Construcción

La economía circular en la construcción (ECC) es un tema que ha tomado fuerza en los últimos años y se ha ido comenzando a instaurar en Chile paulatinamente producto de los efectos negativos que esta industria produce al entorno en el que vivimos, ya que *“el desperdicio entre un 10 – 15% de los materiales durante la construcción, el 54% de los materiales de demolición se depositan en vertederos”* (Fundación Ellen MacArthur, 2017a). En Chile *“...más de un 20% de todos los residuos de construcción y demolición generados en el país no cuentan con un sitio de disposición legal específico en la región en la que fueron generados.”* (Ossio y Faúndes, 2021). Es por lo anterior y

entre otras cosas más que se ha estado moviendo la construcción a un nuevo tipo de modelo como lo es la economía circular.

La ECC trabaja desde 7 puntos importantes, según Construye 2025 et al., los cuales son:

- Extracción de Materia Prima: Consiste en la extracción de estas materias, siempre velando por mantener el medio ambiente en su equilibrio.
- Fabricación de Materiales y productos: Estos productos y materiales deben ser de diseño ecológico, es decir, materiales o productos que estén hechos de material reciclado o que sean fáciles de reciclar con el fin de reducir los desechos de estos.
- Transporte: adquirir productos locales para evitar grandes trayectos de transporte, con el fin de reducir la contaminación que se produce por esta acción y además se favorece a la economía local.
- Construcción: Se controlan los impactos en los sitios de construcción mediante la industrialización de montaje y desmontaje de lo construido, es decir, que sea modular. Además, se clasifican y trazan los desechos para luego enviarlos a canales de recuperación.
- Operación: Es la implementación del diseño ecológico con el motivo de limitar el consumo de energía y el impacto que produce al medio ambiente.
- Renovación/Rehabilitación: Se extiende la vida de los edificios, por ejemplo el uso de una fábrica pase a ser un restaurante o algún otro tipo de inmueble.
- Deconstrucción: Se reciclan y se recuperan los residuos del sitio para ser reutilizados en otra edificación u otro uso.

Además, si estos pasos son implementados totalmente al momento de hacer cualquier tipo de inmueble los residuos finales son mínimos, ya que en la etapa de construcción cuando se generan estos son valorizados para luego ser transportados al lugar donde se podrán reutilizar, reciclar, etc., para que este material no contamine al medio ambiente y con ello permitir la menor extracción de materias primas. Este proceso se puede ver con la empresa "Revaloriza", la cual *"pretende reciclar y valorizar 120.000 toneladas de residuos de la construcción y demolición"* (Construye 2025, 2021).

3. Residuos en la Construcción.

3.1. Marco Normativo en Chile sobre la construcción, residuos y contaminación.

El 14 de mayo de 1992 comienza a regir el *"Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación"* (BCN, 1992), el cual se encarga de establecer parámetros en la exportación, tránsito e importación de cualquier tipo de residuo para poder proteger con ello la salud humana y el medio ambiente.

En 1994 con la ley 19.300 sobre bases generales del medio ambiente se establece la protección de este y de los recursos naturales. Esta ley surge porque en la

"Constitución de 1980 se reconoció el derecho de todo ciudadano a gozar de un medioambiente libre de contaminación, por otra parte, se liberalizó el suelo y el transporte

urbano, lo que repercutió directamente en los elevados índices de contaminación” (Biblioteca Nacional de Chile, s.f.)

demostrándose que con el paso del tiempo, todo tipo de construcción e intervención va generando y aumentando el nivel de gases de efecto invernadero en el ambiente. Además, esta ley permitió asentar unas bases más sólidas para la disposición de residuos y mayor control sobre el impacto que pueden producir al medio ambiente.

En el año 2005 se aprueba en el decreto 148 el reglamento sanitario sobre el manejo de residuos peligrosos, el cual se complementa con el anterior mencionado, ya que este tipo de residuos es muy perjudicial tanto para la salud humana como para el medioambiente. También, a través de este decreto se puede ver cómo el país fue cambiando de a poco el tipo de sistema económico lineal que se genera en la construcción, ya que con este decreto vigente hay que saber cómo poder manejar este tipo de residuos de manera segura en los vertederos y el control continuo de estos cuando son depositados en estos sectores.

El decreto 189 que entra en vigencia el año 2008 establece un reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios, lo cual estipula que dicha persona que posea *“residuos sólidos domiciliarios y/o residuos sólidos asimilables a un tercero”* (BCN, 2008) deberá encargarse de la disposición final según como se estipula en el decreto, lo cual veremos más adelante que no es totalmente respetado ya que se han creado, a lo largo de todo el país, vertederos ilegales.

Ley 20879 publicada el 25 de noviembre de 2015 sanciona el transporte de desechos hacia vertederos clandestinos desde multas tributarias mensuales hasta *“presidio menor en su grado medio y con la suspensión de la licencia de conducir e inhabilidad para obtenerla hasta por dos años.”* (BCN, 2015)

Por último, la Ley 20920, que entró en vigencia el 01 de junio de 2016, establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje, siendo esta una importante ley que se complementa con la economía circular planteada anteriormente, ya que *“tiene por objeto disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización,... con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente.”* (BCN, 2016).

3.2. Artículos desarrollados respecto al tema

a) Residuos de construcción de una edificación en altura (Bravo, Valderrama y Ossio, 2019)

En la investigación realizada en la Región Metropolitana, se aborda una clasificación de residuos generados por una edificación de 21 pisos y una *“superficie útil de 13.375 m²”* (Bravo, Valderrama y Ossio, 2019) donde en la etapa de obra gruesa fue el hormigón el residuo que más se generó, representado en la Figura 1 (Bravo, Valderrama y Ossio, 2019).

<i>Partidas Obra Gruesa</i>	<i>Residuos generados [m³]</i>	<i>Residuos por unidad superficie [m³/m²]</i>
Hormigón	492,57	0,03683
Techumbre y Hojalatería	18,22	0,00136
Moldajes	15,33	0,00115
Enfierradura	15,18	0,00113
Carpintería Metálica	1,67	0,00012
Impermeabilización y Sellos	1,18	0,00009
Rellenos	0,65	0,00005
Total	544,79	0,04073

Figura 1: Generación de RCD por partida en obra gruesa. Fuente: (Bravo, Valderrama y Ossio, 2019)

b) Transformation towards a circular economy in the Australian construction and demolition waste management system (Shooshtarian et al., 2022)

Investigación realizada en Australia, utilizan la economía circular y el modelo de Less of Waste, More of Resources (LoWMoR) para analizar cada etapa de la construcción y crear estrategias entorno a las deficiencias que tiene cada una. En la etapa de construcción al momento de encontrar las deficiencias, ellos proponen que al instante se debe “instruir a los obreros sobre la utilización del material, el uso de una nueva metodología eficiente para el control de residuos, la aplicación de tecnologías y el proporcionar directrices claras sobre el logro de los programas de sostenibilidad.” (Shooshtarian et al., 2022) con el propósito de comprender y dar cuenta que se pueden reducir los RCD en esta etapa.

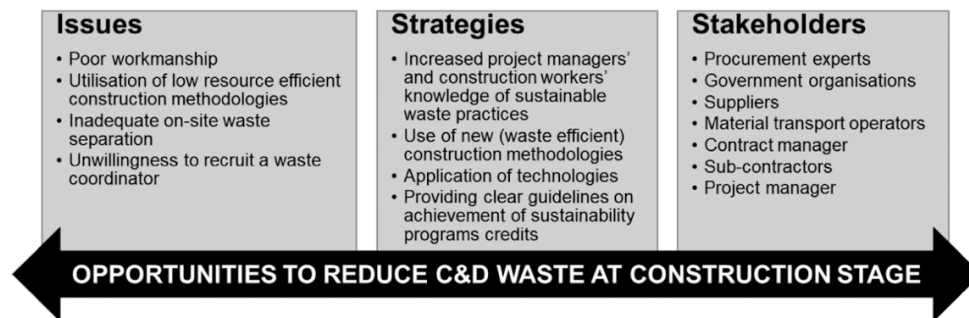


Figura 2: Presenta los problemas, estrategias e inversionistas para la reducción de RCD en la fase de construcción. Fuente: (Shooshtarian et al., 2022)

c) Beneficios que conllevaría la implementación de una metodología para la gestión de residuos de construcción y demolición en proyectos de expansión habitacional. (Vergara, A. 2022)

En esta investigación se analizan 3 tipos de proyectos condominios de casas, entre uno y dos pisos de albañilería, observando los m³ de RCD mensuales producidos, a la etapa en la que se encuentra la obra y el costo del desplazamiento de estos residuos a sitios de disposición legal, obteniendo estos resultados:

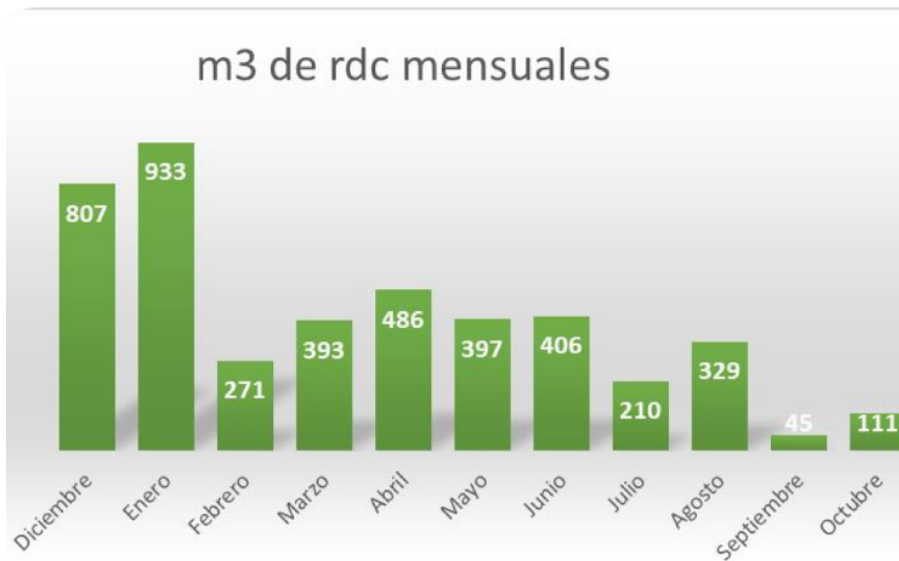


Figura 3: Se presenta la cantidad mensual de RCD generado en Los Castaños VI y VII, donde más se generó fue en el mes de enero que correspondía a la faena de construcción de obra gruesa. Fuente: (Vergara, A. 2022)

Mes	RCD (M3)	Costos	Camiones
Marzo	145	\$ 14.200.000	15
Abril	150	\$ 15.000.000	20
Mayo	135	\$ 12.700.000	25
Junio	179	\$ 1.790.000	11
Julio	243	\$ 1.190.000	7
Agosto	0	\$ -	0
Septiembre	210	\$ 2.100.000	14
Octubre	250	\$ 2.460.000	24
Noviembre	191	\$ 1.910.000	12
Totales	1503	\$ 51.350.000	128

Figura 4: Costos de movimiento de RCD Los Castaños VI y VII. Fuente: (Vergara, A. 2022)

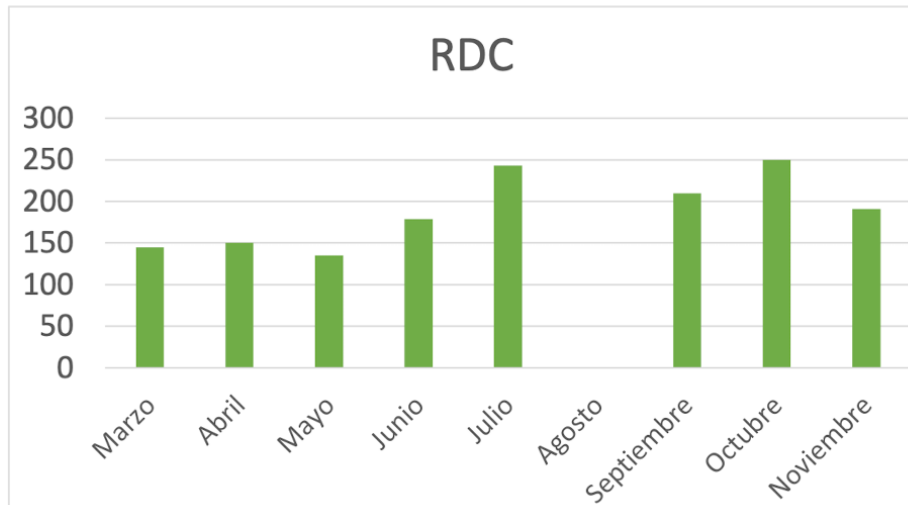


Figura 5: m³ de RCD mensuales Los Cipreses. Fuente: (Vergara, A. 2022)

Mes	RCD (M3)	Costos	Camionadas
Marzo	145	\$ 14.200.000	15
Abril	150	\$ 15.000.000	20
Mayo	135	\$ 12.700.000	25
Junio	179	\$ 1.790.000	11
Julio	243	\$ 1.190.000	7
Agosto	0	\$ -	0
Septiembre	210	\$ 2.100.000	14
Octubre	250	\$ 2.460.000	24
Noviembre	191	\$ 1.910.000	12
Totales	1503	\$ 51.350.000	128

Figura 6: Costos mensuales del movimiento de RCD Los Cipreses. Fuente: (Vergara, A. 2022)

4. Métodos

Se realiza una investigación de carácter cuantitativa mediante el análisis comparativo de tres casos de estudio de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), y de los gases contaminantes que estos generan en cada etapa de la construcción, para generar datos concretos sobre la cantidad de RCD y contaminación que se produce en obra de cada uno de ellos; y también de carácter cualitativo mediante la revisión bibliográfica de documentos para obtener datos de cómo la economía circular influye en la construcción y cómo poder implementarla en obra.

Esta investigación es entorno a tres diferentes casos de estudio, estos son, el proyecto Pratt-Eyzaguirre, el proyecto Arboleda de Chena y el último es realizado por autoría propia, basándose en un caso de estudio extranjero pero aplicado en Chile. De cada uno de ellos se extrajo la información de la página del Servicio de Evaluación Ambiental de Chile (sea.gob.cl) donde se encuentra el documento de Declaración de Impacto Ambiental (DIA) de cada uno de ellos para el cálculo de RCD que generan en cada proceso de la etapa de construcción en hormigón armado, como por ejemplo, la cantidad de RCD generado en el proceso de demolición, escarpe, movimientos de tierra, la cantidad de camiones que se desplazan para la entrega de materiales o el retiro de escombros, entre otros.

Se analizan estos casos con el objetivo de poder comparar y evaluar los resultados obtenidos en la correcta gestión de RCD en diferentes tipos de construcciones para finalmente evaluar cuál de ellos es el más efectivo para la reducción de gases contaminantes producidos en obra.

De acuerdo con los datos recolectados se dan a conocer las conclusiones de la cantidad de reducción de contaminantes y RCD generados en obra si se aplicaran los principios de la economía circular en la etapa de obra gruesa en el material de hormigón armado.

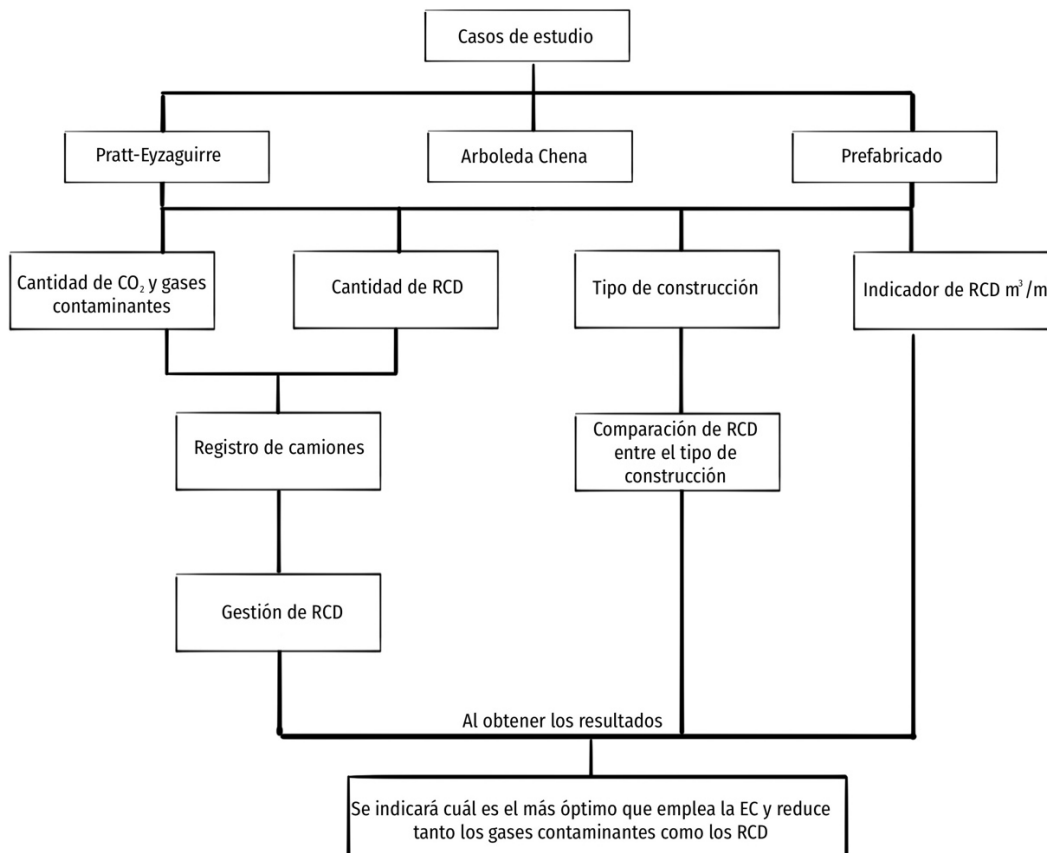


Figura 7: Metodología esquemática

4.1. Revisión Bibliográfica

Se elige este instrumento ya que ayuda a recopilar información importante para la investigación y que aportan grandes argumentos a la hora de hablar de la ECC, cómo contribuye en cada proceso en la construcción de una vivienda en altura de hormigón armado, en la reducción de CO₂, en el mejoramiento del medioambiente, entre otras cosas.

La metodología de búsqueda fue realizada mediante 4 principales pasos: 1) Economía Circular (EC) en los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), 2) Manejo de los RCD en Chile centrado en el hormigón armado y en la etapa de obra gruesa, 3) Manejo de los RCD en el extranjero en construcciones de hormigón armado y en la etapa de obra gruesa y 4) Construcción prefabricada en hormigón armado.

La información fue extraída de diferentes artículos publicados en variadas bases de datos como Google Académico, Researchgate, Elsevier, Scielo y Science Direct. Las palabras claves que fueron empleadas para la búsqueda de estos artículos fueron: economía circular, RCD, obra gruesa, residuos, construcción, prefabricación, vertederos e impacto medioambiental.

4.2. Casos de estudio

A continuación se revelan los casos de estudio a analizar, de los cuales se dará a conocer sus características principales y el objetivo por el cual fue seleccionado.

1. **Caso 1 Proyecto Prat-Eyzaguirre:** Es un edificio en construcción que poseerá 12 pisos con 2 subterráneos con 365 departamentos y 89 estacionamientos vehiculares con 164 bicicleteros. Además en su primera planta tendrá 18 locales comerciales.

Superficie total construida de 23.739,53 m²

Superficie bajo cota 0 = 3.499,21 m²

Superficie sobre cota 0 = 20.240,32 m²

Hormigón y otros materiales: Se utilizará hormigón premezclado provisto de empresas autorizadas y será trasladada en camiones mixer desde el emplazamiento de la empresa hasta las instalaciones del proyecto. La cantidad de hormigón a utilizar es de 10.578,78 m³

Otro material requerido es el acero, donde se proyecta un total de 1.148 ton.

Escombros de obras: Se estima un total de 4.747,9 m³. Estos serán almacenados para posteriormente ser retirados por empresas autorizadas y trasladarlos a un sitio autorizado por la SEREMI.

Este proyecto fue seleccionado al ser una edificación en altura y tener subterráneo, lo que conlleva a utilizar mayor cantidad de material y herramientas para su construcción, por lo tanto se analizará durante toda la etapa de obra gruesa la cantidad de RCD generados en la obra y con ello la contaminación producida.

2. **Caso 2 Proyecto Arboleda de Chena:** Es parte de un proyecto de dos condominios, ya construido, de 37 casas cada uno con un total de 74 casas con 172 estacionamientos para vehículos, en el cual se centrará sólo en un condominio que es el de Arboleda Chena. Este

proyecto se realizó en un terreno llano y sin construcciones previas por lo que no se planeó una etapa de demolición en el proyecto.

Superficie total construida 10.156,57 m²

El hormigón es provisto por empresas autorizadas, utilizando camiones mixer. La cantidad de hormigón a utilizar es de 4.822 m³. Además, se requiere de aproximadamente unas 253 toneladas de acero.

Se estima un total de 2.054 m³ de RCD. Los restos de hormigón provenientes de las canoas mixer son retenidos en la cámara, para que cuando estén secos sean picados por el personal y acumulados en una batea de escombros, para luego ser retirados por empresas autorizadas y dejarlos en un vertedero autorizado.

Se selecciona este caso al ser una construcción de baja altura, por ser casas, por lo que se deduce que la cantidad de material y herramientas a emplear en el proyecto será menor y por lo tanto la contaminación será reducida comparado con el proyecto del caso 1. Además, se selecciona al no poseer una etapa de demolición, para con ello, poder observar cómo impacta la demolición al medio ambiente y al entorno, tanto en cantidad de RCD como en gases contaminantes.

- Caso 3 Proyecto Prefabricado:** Se utiliza como referencia el caso y los resultados del artículo “Revisiting the effects of prefabrication on construction waste minimization: A quantitative study using bigger data” de Lu et al., donde analizan 85 construcciones prefabricadas y 29 construcciones convencionales mediante los registros de carga de camiones para el cálculo de RCD generado en cada uno. Un proyecto seleccionado, de 120.454,63 m², posee todos sus componentes prefabricados menos el balcón generando 41.119,79 ton (17.133,25 m³) de RCD. Con los datos obtenidos se presenta un caso hipotético que tenga una superficie total construida igual a la del primer caso para tener una comparación más equilibrada, ya que la edificación original del artículo mencionado en el caso 3 tiene una superficie excesivamente mayor a la de los otros casos, por lo que se dificulta la comparación con estos y los resultados no estarían a la misma escala. A partir de lo anterior, se obtendrán los resultados para el caso prefabricado. Además, este no poseerá la etapa de demolición de un edificio previo en el terreno.

4.3. Marco de análisis de Datos

Para el cálculo de emisiones atmosféricas se utilizó la “Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana” de la SEREMI del Medio Ambiente. De lo anterior, solo se utilizaron las ecuaciones del proceso de construcción, omitiendo la etapa de operación, por el tipo de enfoque de esta investigación.

Demolición: $E_i = FE_i \times A \times d \times (1 - CE) \times (24 / PE) \times (s / 9\%)$

E_i : Emisiones del contaminante i , en [kg/año].

FE_i : Factor de emisión del contaminante i , en [kg/m² · año].

A : Área a demoler, en [m²].

d: Duración de la demolición, en años.

CE: Eficiencia de abatimiento, se utiliza el factor 0 para ambos casos según la guía para la estimación de emisiones atmosféricas en la Región Metropolitana.

PE: Índice de evapotranspiración de Thornthwaite.

s: Contenido de finos en el suelo.

Utilizando los siguientes factores de emisión:

Tabla 1: Factor de emisión para demolición de construcciones residenciales. Fuente: SEREMI, MMA (2020)

Factor de Emisión Residencial	Unidad
$f_{e_{MP10}} = 0,086$	[kg/m ² * año]
$f_{e_{MP2,5}} = 0,0086$	[kg/m ² * año]

Tabla 2: Factor de emisión para demolición de departamentos. Fuente: SEREMI, MMA (2020)

Factor de Emisión Departamentos	Unidad
$f_{e_{MP10}} = 0,3$	[kg/m ² * año]
$f_{e_{MP2,5}} = 0,03$	[kg/m ² * año]

Perforación: $E = fe \cdot Na \cdot (1 - Ea)$

E_i : Emisiones del contaminante *i*, en [kg/año].

fe = Factor de emisión

Na = Nivel de actividad, se determina con el número de perforaciones a realizar en el proyecto por año cronológico.

Ea = Eficiencia de abatimiento

Tabla 3: Factor de emisión para perforación fuente: SEREMI, MMA (2020)

Factor de Emisión	Unidad
$f_{e_{MP10}} = 0,177$	[kg/perforación]
$f_{e_{MP2,5}} = 0,02655$	[kg/perforación]

Escarpe: $E = fe \cdot Na \cdot (1 - Ea)$

E = Emisión

fe = Factor de emisión

Na = Nivel de actividad = km recorridos por la maquinaria = ha a escarpar * el factor 3,57 [km/ha]

Ea = Eficiencia de abatimiento

Tabla 4: Factor de emisión para escarpe fuente: SEREMI, MMA (2020)

Factor de Emisión	Unidad
$fe_{MP10} = 5,7$	[kg/km]
$fe_{MP2,5} = 0,855$	[kg/km]

Excavación: $E = fe \cdot Na \cdot (1 - Ea)$

E = Emisión

fe = Factor de emisión

Na = Nivel de actividad = volumen a excavar (m³) * rendimiento de la maquinaria

Ea = Eficiencia de abatimiento

“Se considerará que para una máquina con capacidad de palada de 0,9 [m³], se tiene un rendimiento igual a 54,27 [m³/h], aplicando una eficiencia del 67% (Caterpillar, 2017). Cabe señalar que dicho rendimiento hace referencia a metros cúbicos sueltos de tierra excavada, por lo tanto, al momento de determinar las horas de operación de la excavadora, se debe utilizar el volumen de tierra esponjado en un 20% (INN Chile, 2000).” (SEREMI MMA, 2020)

Carguío y volteo de material: $E = fe \cdot Na \cdot (1 - Ea)$

E = Emisión

fe = Factor de emisión

Na = Nivel de actividad = ton del material cargado + ton del material descargado.

Ea = Eficiencia de abatimiento

Tabla 5: Factor de emisión para carguío y volteo de material. fuente: SEREMI, MMA (2020)

Fórmula	Unidad	Parámetros
$fe = k(0,0016)(U/2,2)^{1,3}/(M/2)^{1,4}$	[kg/t]	k MP10: 0,35 k MP2,5: 0,053 U: Velocidad del viento promedio. Valor por defecto: 5 [m/s] M: porcentaje de humedad del suelo. Valor por defecto: 6,5.

Tránsito de vehículos por caminos no pavimentados: $E = fe \cdot Na \cdot (1 - Ea)$

E = Emisión

fe = Factor de emisión

Na = Nivel de actividad

Ea = Eficiencia de abatimiento

Tabla 6: Factor de emisión para el tránsito de vehículos por caminos no pavimentados públicos dominados por vehículos livianos. fuente: SEREMI, MMA (2020)

Fórmula	Unidad	Parámetros
$fe = k * 281,9 (s/12)0,9(S/48,28)0,5$ ----- - C (M/0,5)0,2	[g/km]	k MP10: 1,8 k MP2,5: 0,18 C MP10: 0,132493 C MP2,5: 0,101484 s: contenido de material fino en la superficie [%]. Valor por defecto: 8,5 M: Humedad del material superficial [%]. Valor por defecto: 6,5% S: Velocidad media vehicular [km/h]

Tránsito de vehículos por vías pavimentadas: $E = fe \cdot Na \cdot (1 - Ea)$

E = Emisión

fe = Factor de emisión

Na = Nivel de actividad

Ea = Eficiencia de abatimiento

Tabla 7: Factor de emisión para el tránsito de vehículos por caminos pavimentados. fuente: SEREMI MMA (2020)

Fórmula	Unidad	Parámetros
$f_e = k * (sL)^{0,91}(W * 1,1023)^{1,02}$	[g/km]	k MP10: 1,8 k MP2,5: 0,18 sL: carga superficial de finos [g/m ²]. Valores por defecto: 2,4 - para vías con flujo inferior a 500 vehículos día. 0,7 - para vías con flujo entre 500 y 10.000 vehículos día. 0,3 - para vías con flujo superior a 10.000 vehículos día. W: peso promedio en toneladas de los vehículos que transitan por las vías. Por defecto se puede usar un valor de 8 [t].

Combustión de vehículos: Emisiones = nivel de actividad (distancia recorrida * número de viajes) * factor de emisión

Esta ecuación corresponde al tier 2 presentado en (EMEp/EEA, 2019) y fue utilizada para los factores MP10, MP2,5, NO_x, NH₃, CO, Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano (COVDM), etc., mientras que para las emisiones de SO₂ se utiliza la metodología tier 1, que es la siguiente:

$$E_{SO_2, m} = 2 * k_{S,m} * CC_m$$

E_{SO₂, m} = Emisiones de SO₂ referidas al combustible m, en [g/año]

k_{S,m} = Peso relativo del azufre en el combustible m, en [g/g combustible]. Para efectos de la revisión de proyectos en la Región Metropolitana, se considerará que el contenido de azufre en el combustible es de 15 [ppm], que equivale a 0,000015 [g/g combustible].

CC_m = Consumo del combustible m [g/año]

Para determinar los **Residuos de Construcción** (RESCON) generado en demolición y construcción se utiliza la información otorgada por el documento de Estimación de Emisiones del Proyecto Vespucio Connect de Urbano proyecto, donde plantean que el tipo de proyecto a realizar produce 0,25 m³ de RESCON por m² construido y 0,5 m³ de RESCON por m² demolido. Por lo anterior, se decide utilizar este valor para los casos de estudio.

Volumen de RCD por m² construido: RCD (m³) / m² construidos = Volumen de RCD generado por m² construido. (Cuevas, 2022)

“Si el resultado de este indicador es cercano al 0 mejor es la gestión de residuos de construcción. A modo de ejemplo, si un proyecto tiene 100 metros cuadrados de construcción y para ejecutarlos la constructora desechó 50 metros cuadrados de RCD, esto quiere decir que cada 2 metros cuadrados de construcción se desechó un metro cúbico de RCD.” (Vergara, 2022).

5. Resultados

El estudio elabora una comparación de cada etapa de la construcción de la obra gruesa de los casos presentados con el objetivo de demostrar que un caso que utilice la ECC es más eficaz que los métodos convencionales que se realizan actualmente en Chile.

Para la etapa de demolición se calcula el residuo producido en m^3 , donde el único caso que generó residuos fue el primero, pudiendo observar los resultados en la Figura 8, generando $1.209,4 m^3$ producto de una edificación existente en el terreno a utilizar. Esto se produce por el hecho de que en la Región Metropolitana se busca aumentar la densidad poblacional, construyendo edificios, por lo que se eligen terrenos que tengan buena accesibilidad, ubicación, entre otros y para ello o se compra un terreno habitacional donde a los dueños de las casas deciden venderlas a las inmobiliarias, y estas deciden demolerlas para construir una edificación en altura, o se demuele una antigua edificación que se encuentra en el terreno y no se aprovecha la rehabilitación de esa construcción en el propio proyecto. Por otro lado, para el segundo caso no se produce demolición en el terreno ya que para la construcción de casas se buscaron terrenos que estuvieran a la periferia de la ciudad donde los terrenos son llanos y solo poseen flora y fauna del sector, esto se puede ver en “En el mercado de casas, la oferta disponible se concentra principalmente en Colina (32%), San Bernardo/Buín (24%), Lampa/Quilicura (11%) y Puente Alto (10%)” (CChC, 2020). Por último, en el tercer caso se decidió no utilizar demolición para generar un caso con condiciones perfectas para la implementación de la ECC, dándose a entender que el terreno a utilizar, la persona encargada del proyecto incluye en su propio proyecto la utilización de la edificación existente o por el contrario la utilización de las partes y los materiales de él.

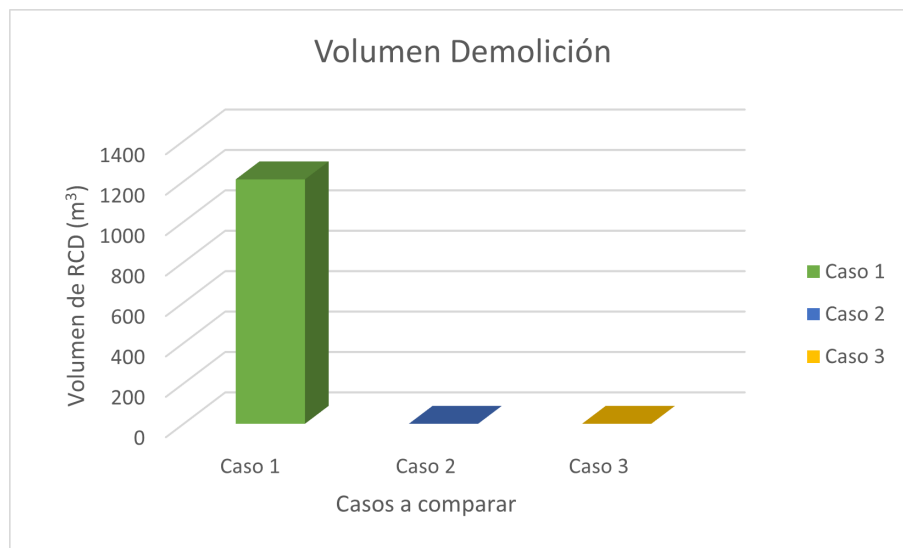


Figura 8: Gráfico comparativo del volumen de demolición para los casos seleccionados.

Para la etapa de emisiones de partículas en la perforación se comparan solo los dos primeros casos ya que no se encuentra disponible la información para el tercer caso. En la Figura 9 se puede observar que en ambos casos generaron emisiones en el primer año, y estas fueron de MP 2,5 de

0,000027 ton/año, MP 10 de 0,00017 ton/año y MP 2,5 de 0,0009, MP 10 de 0,00602 respectivamente. Esto quiere decir que el primer caso es un 97,6% más eficiente que el segundo estudio. Lo anterior se produce por la extensión del terreno donde se realizará el proyecto, ya que, al tener un perímetro de mayor envergadura el caso 2 con respecto a los otros casos, este se tiene que analizar en más de un punto para la propia construcción del condominio a comparación de lo que posee el segundo caso.

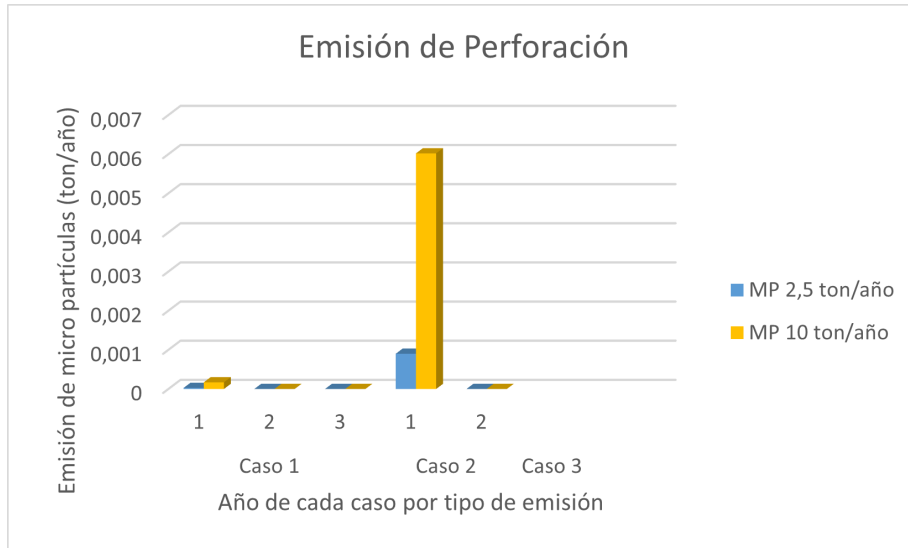


Figura 9: Gráfico comparativo de las emisiones generadas en la etapa de perforación.

Para la etapa escarpe los residuos a analizar serán solo del primer y segundo caso al no poseer la información necesaria para realizar los cálculos del tercer caso. El primer caso generó 402,6 m³ y el segundo 6.986 m³, observándose en la Figura 10, correspondiendo a la preparación del terreno y el retiro de la flora que se encuentre en el terreno. Esto se produce por el área a intervenir ya que un condominio de casas necesita un terreno de un área más grande que el del primer caso, que es la construcción de un edificio en un terreno más acotado porque el objetivo de esta tipología es densificar en altura, mientras que el otro densifica en la extensión y en menor grado que un edificio. Por lo anterior, se determina que el escarpe producido en el primer caso es un 94.23% más efectivo en la baja generación de residuos para la etapa presente.

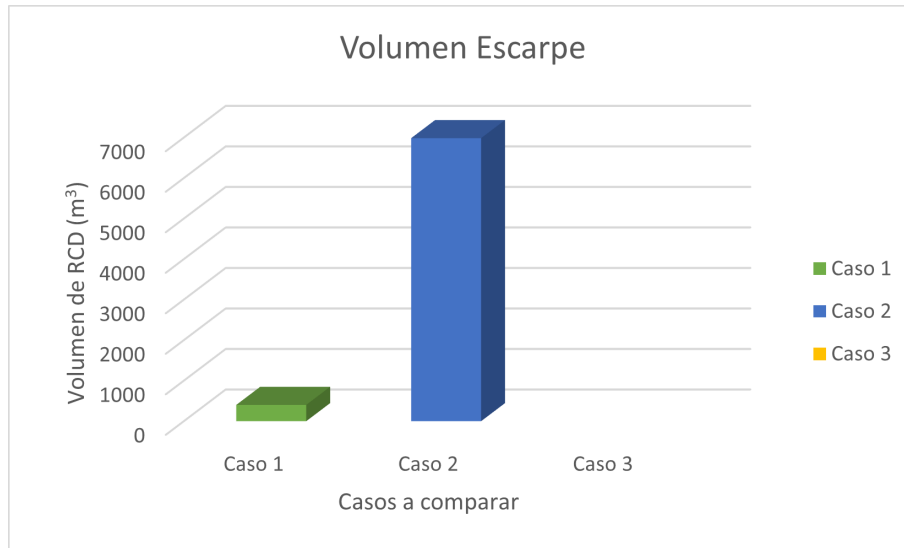


Figura 10: Gráfico comparativo de los metros cúbicos de residuos generados en la etapa de escarpe.

Para la etapa de excavación también se analizarán los dos primeros casos, al no poseer la información necesaria para realizar los cálculos para el tercer caso. Para el primer caso se obtuvo 14.235,6 m³ y para el segundo 12.151,2 m³, mostrándose en la Figura 11. La diferencia entre estos casos no es tan significativa como en las anteriores etapas presentada esto se debe a que el primer caso genera una excavación bajo la cota cero para la realización del subterráneo mientras que el segundo caso realiza excavaciones para la instalación del alcantarillado que va por todas las calles del condominio. El caso del condominio es un 14,64% más efectivo en la reducción de residuos, por lo que la contaminación realizada en esta etapa es menor que la que se realiza en el primer caso.

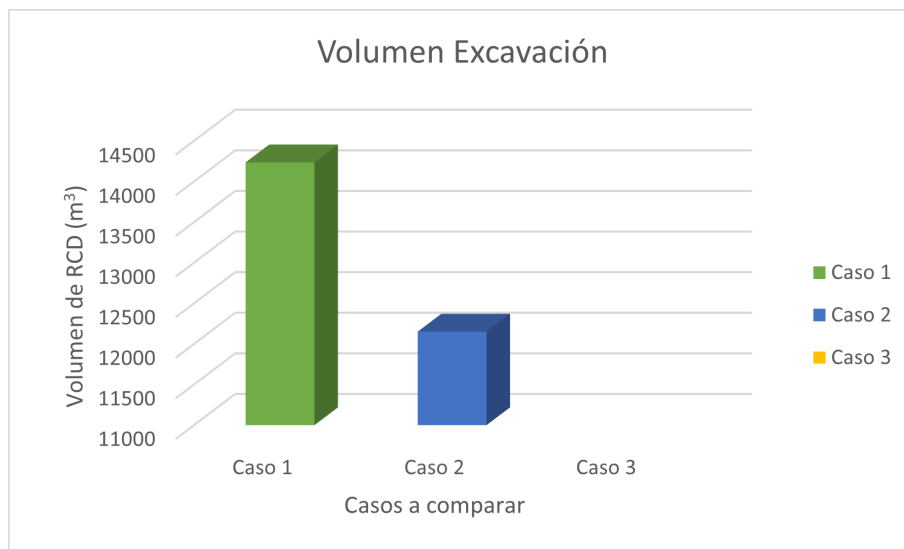


Figura 11: Gráfico comparativo de los metros cúbicos de residuos generados en la etapa de excavación.

Para la etapa de carga del material también se analizan los primeros dos casos, al no poseer la información necesaria para realizar los cálculos para el tercer caso. Esta etapa se encarga de la carga de tierra y escombros generados en el proyecto. Obteniendo los siguientes resultados, presentándose en la Figura 12, para el primer caso el total de MP 2,5 es de 0,00171 ton/año y el MP 10 es de 0,01125 ton/año; y el segundo caso el total de MP 2,5 es de 0,00145 ton/año y el MP 10 es de 0,0096 ton/año. En ambos casos se puede observar que la mayor cantidad de contaminación es en el primer año, donde se realizan las operaciones de demolición, perforación, escarpe, instalación de faenas y excavación, las cuales son etapas que levantan una alta cantidad de partículas producto del movimiento de tierras realizado en el terreno. Se concluye que el segundo caso es un 14.66% más eficiente que el primer caso por el hecho de que se reutiliza la tierra extraída para el posterior relleno y nivelación del terreno, producto de las excavaciones realizadas anteriormente.

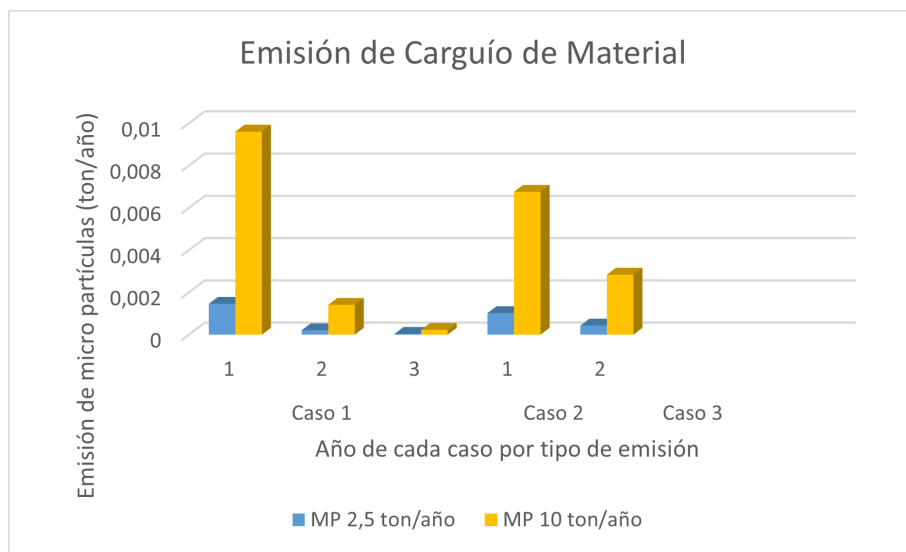


Figura 12: Gráfico comparativo de las emisiones generadas, por año, en la etapa de carguío de material.

Para la etapa de volteo de material también se analizan los primeros dos casos, al no poseer la información necesaria para realizar los cálculos para el tercer caso. Esta etapa se encarga de la descarga de la tierra y escombros ya sea en botaderos o en rellenos sanitarios autorizados. Obteniendo los siguientes resultados, presentándose en la Figura 13, para el primer caso el total de MP 2,5 es de 0,00171 ton/año y el MP 10 es de 0.01125 ton/año; y el segundo caso el total de MP 2,5 es de 0,00145 ton/año y el MP 10 es de 0,0096 ton/año. ; y el segundo caso el total de MP 2,5 es de 0,00145 ton/año y el MP 10 es de 0,0096 ton/año. En ambos casos se puede observar que la mayor cantidad de contaminación es en el primer año, donde se realizan las operaciones de demolición, perforación, escarpe, instalación de faenas y excavación, las cuales son etapas donde se realiza un alto movimiento de tierras y escombros, por lo que se necesita transportar el exceso de esto para mantener el entorno a construir más limpio para la propia construcción de la obra. Es por lo anterior, que el segundo caso es un 14.66% más efectivo por el hecho de reutilizar la misma tierra excavada en el proyecto, por lo tanto generando menor cantidad de residuos y menor cantidad de movimiento de los camiones que transportan el material.

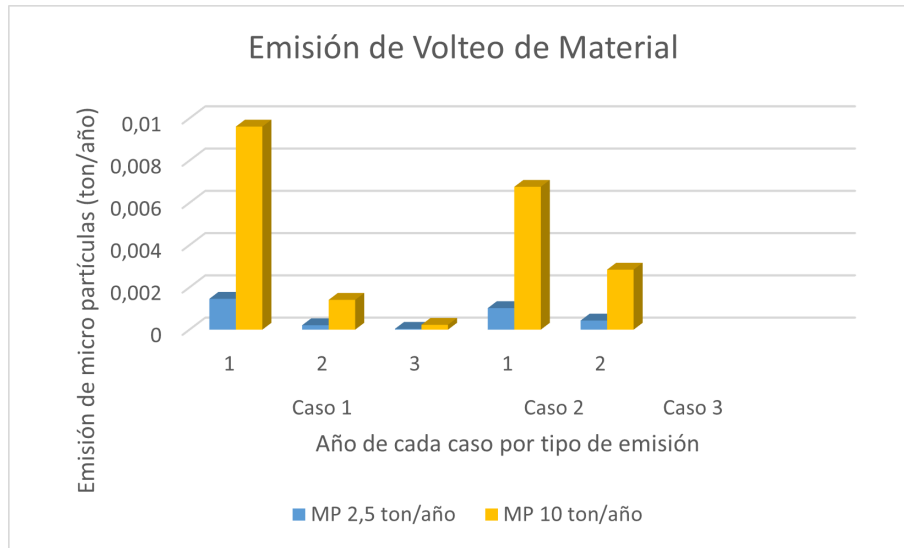


Figura 13: Gráfico comparativo de las emisiones generadas, por año, en la etapa de volteo de material.

Se analizan las emisiones generadas por el tránsito de los vehículos por caminos no pavimentados (Figura 14) tanto en el interior del terreno del proyecto como en el exterior, solo para los primeros dos casos anteriormente mencionados. Los resultados obtenidos para el primer caso, el total de emisiones generadas en el interior del terreno son MP 2,5 de 0,0145 ton/año y el MP 10 de 0,1445 ton/año; para las emisiones exteriores son MP 2,5 de 0,0418 ton/año y el MP 10 de 0,41 ton/año; para el segundo caso en el interior del recinto son de MP 2,5 de 0,0271 ton/año y MP 10 de 0,2707; y para el exterior los resultados son de MP 2,5 de 0,0324 ton/año y MP 10 de 0,3243 ton/año. Las rutas más largas recorridas por ambos casos fue el trayecto a los botaderos ya que estos se encuentran lo más lejos de las ciudades por lo olores que generan y la mala calidad de vida que le produciría a los habitantes que se asientan alrededor o cerca de ellos.

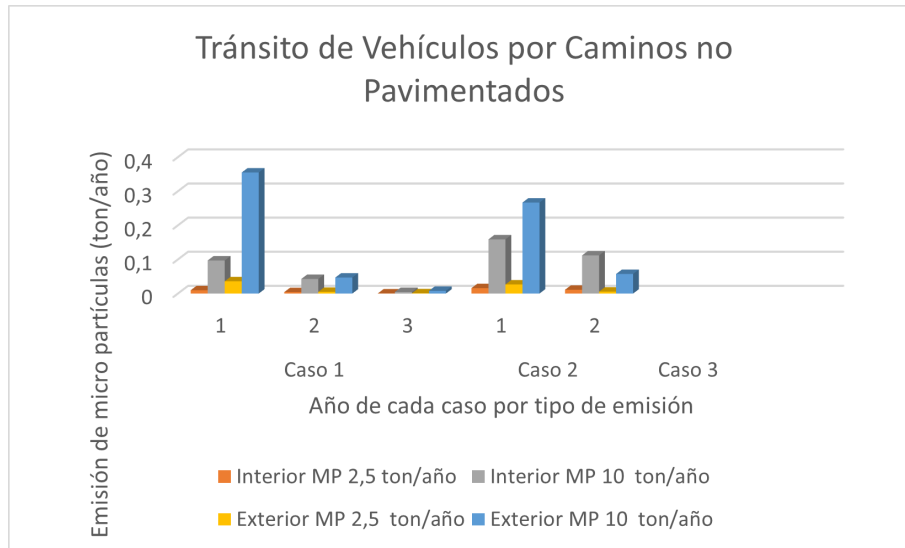


Figura 14: Gráfico comparativo de las emisiones generadas, por año, en la etapa del tránsito de vehículos por caminos no pavimentados.

Se analiza las emisiones generadas por el tránsito de los vehículos por caminos pavimentados tanto en el interior del terreno del proyecto como en el exterior, solo para los primeros dos casos anteriormente mencionados. Los resultados obtenidos para el primer caso (Figura 15), el total de emisiones generadas en el interior del terreno son MP 2,5 de 0,000356 ton/año y el MP 10 de 0,001473 ton/año; para las emisiones exteriores son MP 2,5 de 0,13812 ton/año y el MP 10 de 0,57092 ton/año; para el segundo caso en el interior del recinto son de MP 2,5 de 0,000367 ton/año y MP 10 de 0,001519 ton/año; y para el exterior los resultados son de MP 2,5 de 0,03708 ton/año y MP 10 de 0,08906 ton/año. De lo anterior, se puede extraer que el segundo caso es un 72,96% más eficiente en la reducción de la contaminación del medio ambiente, esto se produce ya que el proyecto se encuentra en la periferia por lo que los botaderos quedan a una distancia menor a la del primer caso. Además, utiliza vendedores de materiales muy cercanos al lugar del proyecto por lo que los trayectos de los camiones y la contaminación que producen es menor.

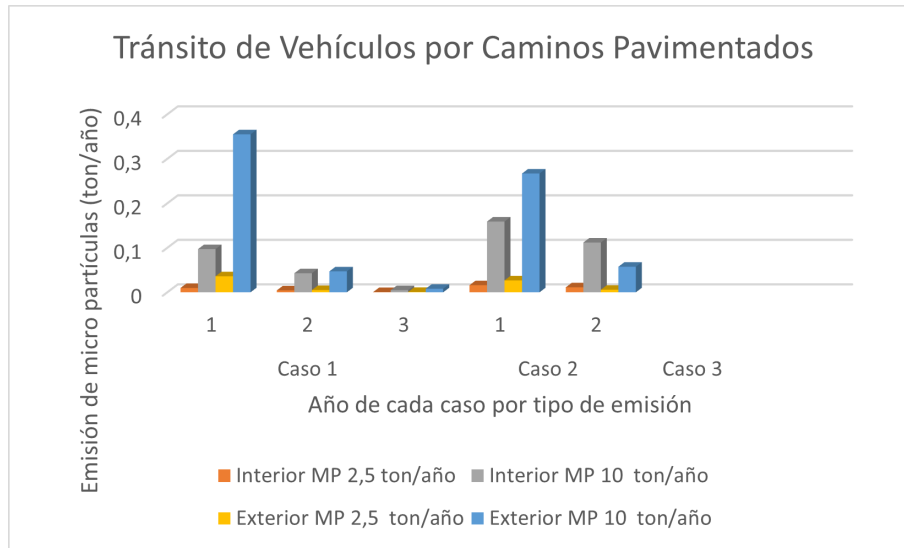


Figura 15: Gráfico comparativo de las emisiones generadas, por año, en la etapa de tránsito de vehículos por caminos pavimentados.

En la siguiente etapa se analiza la combustión generada por los vehículos utilizados en obra (Figura 16), con el objetivo de observar la contaminación total que generan en la etapa de construcción. Este análisis solo se realizará para los dos primeros casos como por el mismo motivo que en los cálculos anteriores. Al observar la Figura 16 se determina que el mayor contaminante de emisiones es el primer caso ya que los trayectos donde vierten los RCD y donde consiguen los diferentes materiales están a largas distancias, produciendo mayor combustión y contaminación al entorno. Además, se puede observar que la mayor contaminación, en el primer caso, es en los primeros dos años donde se realizan las etapas donde se extrae y se requiere material como lo es la excavación y el comienzo de la obra gruesa de la edificación, respectivamente.

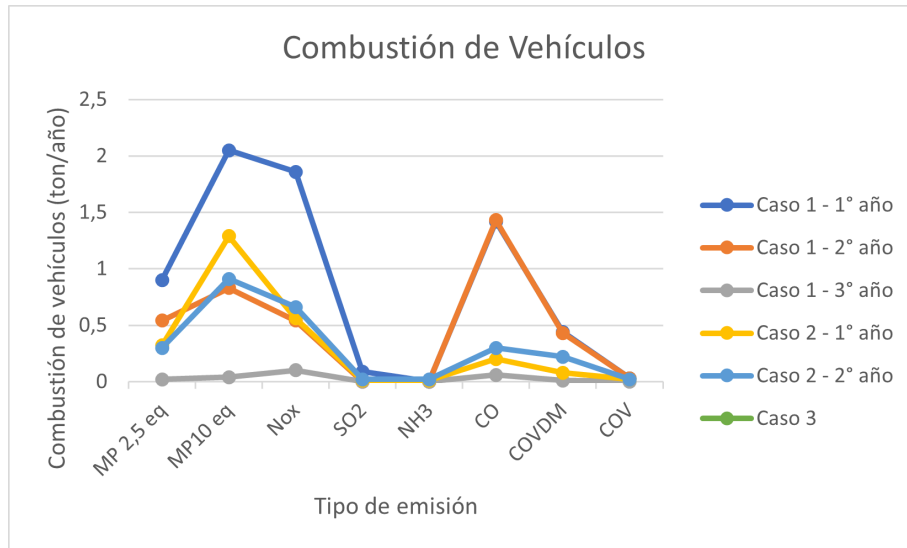


Figura 16: Gráfico comparativo de la combustión total de los vehículos por cada año de cada caso seleccionado.

Para los residuos de construcción se analizó los tres casos propuestos. Los resultados (Figura 17) del primer caso fueron 5.934,8 m³, para el segundo caso fueron 2.540 m³ y para el tercer caso fueron 3.323,53 m³, esto quiere decir que el 57,21% y el 44%, para el segundo y tercer caso respectivamente, son más eficientes en la reducción de producción de RCD en la obra gruesa con respecto al primer caso, esto es debido a la envergadura del proyecto como al tipo de construcción, puesto que al ser un condominio de casas pareadas la cantidad de material a emplear es menor que en la de una edificación en altura de 12 pisos como lo es el caso 1 y 3. Además, el caso tres tiene un tipo de construcción diferente a los otros dos casos ya que es prefabricado, por lo que si comparamos el primer caso con el tercero se demuestra que este último es un 30% más eficiente que la construcción convencional de edificaciones en altura que se realiza actualmente en la Región Metropolitana.

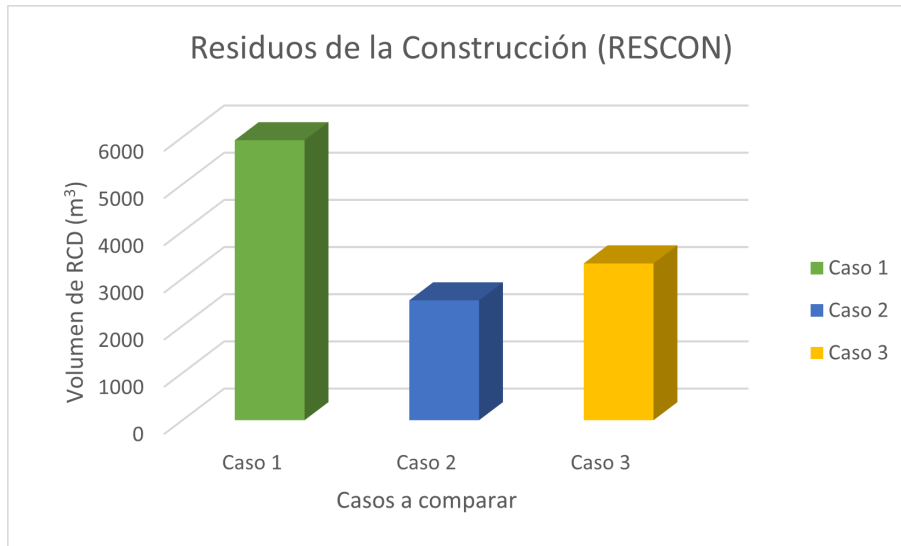


Figura 17: Gráfico comparativo de los residuos de construcción generados en cada caso seleccionado.

Por último se analiza el volumen de RCD generado por metro cuadrado construido, el cual indica cómo es la gestión de RCD, siendo el valor 0 el óptimo donde no se producen residuos. Los resultados (Figura 18) para el primer caso fue de $0,19 \text{ m}^3/\text{m}^2$, para el segundo caso fue de $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y para el tercero fue de $0,14 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Los anteriores resultados son el mejor indicador de la eficiencia en construcción con respecto al RCD, por lo que la edificación más eficiente para la reducción de residuos en la construcción es el tercer caso, el cual es el prefabricado, donde es un 30% y un 26,32% más eficiente que el segundo y primer caso respectivamente. Por lo que, para la construcción en hormigón armado en altura es mejor optar por una edificación prefabricada al tener un mayor control sobre los RCD generados en obra.

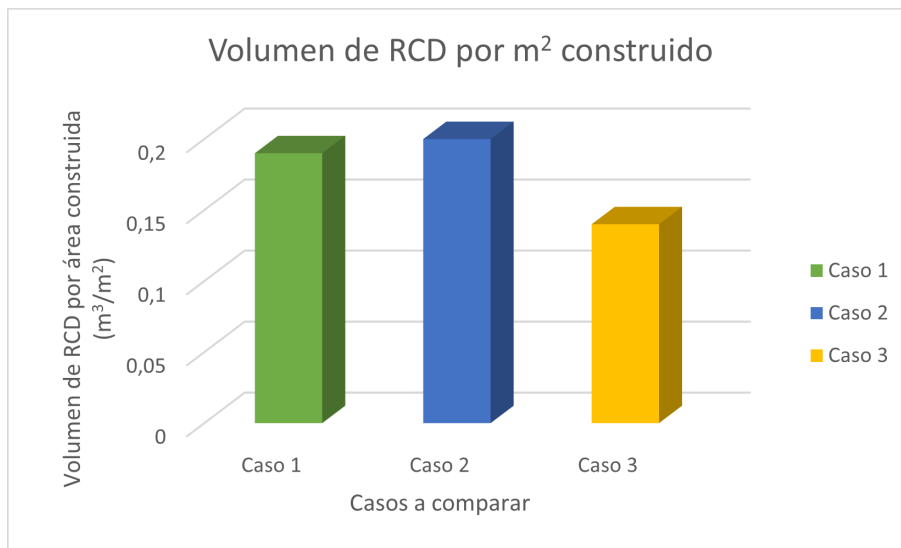


Figura 18: Gráfico comparativo del volumen de RCD generado por m² construido para cada caso seleccionado.

6. Conclusiones

En este trabajo se propuso que mediante la aplicación de la Economía Circular (EC), en la etapa de obra gruesa, se podría realizar la reducción de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y la contaminación al medio ambiente en construcciones de viviendas en altura, lo cual se valida ya que en la comparación realizada con los casos de estudio se obtuvo que en el primer caso se produjo $0,19 \text{ m}^3/\text{m}^2$, en el segundo caso $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y para el tercer caso $0,14 \text{ m}^3/\text{m}^2$. De lo anterior, el último caso es el más cercano al promedio de RCD que producen los países desarrollados, ya que en él se obtuvo un mayor control de los RCD en el proceso de construcción y en el tipo de estructura a utilizar siendo prefabricada, donde en los puntos donde puede generar residuos son en las uniones húmedas del hormigón y el desplazamiento de las piezas de la edificación al terreno.

Por otra parte, el objetivo principal de la investigación se cumplió ya que se pudieron analizar e identificar los principales criterios de la EC para la reducción de gases contaminantes tratando los residuos en obra. Lo anterior se logra implementando reglas y directrices desde el momento que es diseñado el proyecto hasta que se prescinde de la edificación, evitando la demolición e incentivando la reutilización o la circulación de las partes del proyecto. Debido a lo anterior, la cantidad de residuos que se genere en cada etapa sea cero o cercano a él pero siempre buscando que si se genera un desecho este se trate como un material que tiene que estar en constante movimiento dentro del área de la construcción.

El objetivo secundario de identificar la situación actual de manejo de residuos pétreos en Chile desde el enfoque de la economía y el objetivo de analizar el ciclo de vida de los materiales pétreos aplicando la EC se cumplieron, identificando que el manejo que tienen de este sigue estando muy desactualizado para lo que el medio ambiente necesita, ya que las normas se enfocan más en la responsabilidad del productor de RCD y que si éste genera residuos tendrá que pagar una cierta cantidad de dinero por depositar los residuos en un vertedero autorizado, lo que ellos están dispuestos a pagar en vez de estar dispuestos a reducir aquello. Lo que se debería implementar es generar una mayor capacitación para los obreros en la construcción, que son los que manipulan los materiales en la construcción y si los componentes son mal implementados la probabilidad de generar RCD es mayor. También, se debería generar normas o sanciones más estrictas para los residuos generados en el proyecto; formar capacitaciones del personal que los ayude a producir y dirigir un proyecto sin residuos y si generan capacitarlos para poder implementarlos a su proyecto sin tener que desecharlos. En conclusión, suscitar un personal consciente de lo importante que es la reducción de los RCD para el medio ambiente y el óptimo manejo de ellos, pudiendo incentivar a las personas y a las empresas generando una certificación que distinga y premie que el proyecto utilizó los principios de la EC generando el mínimo de residuos en la etapa de construcción.

Se logró comparar procesos de la EC en la etapa de obra gruesa que se aplican en Chile respecto a los realizados en las diferentes partes del mundo y analizar mediante diferentes tipos de estructuras la reducción de RCD aplicando la EC, ya que en el extranjero se identifica que todo el proceso del proyecto es importante y se invierte en plantas que traten los residuos producidos en obra para posteriormente reutilizarlos como lo hace una empresa en Chile que es Revaloriza, situada en Valparaíso pero esta solo es una planta en el país en comparación con el extranjero que

poseen más de una planta. Debido a lo anterior, habría que generar más políticas o normas para que este tipo de plantas estén a lo largo de todo Chile para el tratamiento de los RCD con el objetivo de reducir los vertederos que se generan por este material y la intervención de un ecosistema para conseguir los materiales necesarios para la construcción. Con lo anterior, se podrían generar mayor cantidad de viviendas en alturas con material reciclado y con un sistema constructivo prefabricado el cual reduce la cantidad de RCD producido en obra y permite que se genere un sistema modular y desmontable para que con ello en un futuro el inmueble no sea demolido sino que se reutilicen sus partes o sean procesadas en estas nuevas plantas.

De lo anterior, se puede concluir que la implementación de la EC en la etapa de construcción en hormigón armado influye en la reducción de RCD y por lo tanto a la reducción de gases contaminantes, implementando una construcción prefabricada, instruyendo a los obreros de cómo manipular los materiales en obra, reutilización de materiales o de una construcción preexistente en el terreno, utilización de materiales que se encuentren cercano al terreno, entre otros. Es decir, teniendo una planificación completa de los pasos a seguir al momento de iniciar la etapa de obra gruesa de una obra se logrará reducir los gases que actualmente en la construcción se producen. De lo anterior, no se puede olvidar la responsabilidad ética del arquitecto y del equipo que trabaja con él para que una obra genere menos residuos, ya que son los encargados de generar y planificar un proyecto. Con respecto a lo anterior, en Chile, los altos niveles de desechos de los resultados, indicarían que en se prioriza una producción lo más rápida posible sin mayores consideraciones a las consecuencias futuras que los RCD pueden producir a nuestro entorno y con ello a nuestra salud, por lo que es imprescindible impulsar que todos los agentes presentes en el proceso, desde el diseño a la construcción, tengan una mayor consideración en la implementación de estructuras modulares y prefabricadas para la reducción paulatina de los RCD en vertederos y de los gases contaminantes que afectan al entorno, para con ello poder generar espacios en la ciudad libres de la contaminación que produce el área de la construcción.

Referencias

- BCN. (2018). *Política de las 3 R (Reducir, Reutiliza, Reciclar) en Japón: medidas para una economía sostenible*.
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26071/1/Politica_3R_Japon.pdf
- Bellastock. (2022). *Integrating Reuse in Large-Scale Projects and Public Procurements* [Archivo PDF].
https://www.nweurope.eu/media/16916/wpt3_d_2_2_procurement_strategies_20220208.pdf
- Cámara Chilena de la Construcción. (2019). *Informe Macroeconomía y Construcción*. (Informe nº 50).
<https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/MACH50-2019.pdf>

- Cámara Chilena de la Construcción. (2020). *Informe inmobiliario: Gran Santiago*. Francisco Lozano. <https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Informe-32-2020-2-Actividad-del-Sector-Inmobiliario-del-Gran-Santiago.pdf>
- Carter, D. (2017). *Reciclaje Sostenible de Industrias Abandonadas*. (Seminario de Investigación). Universidad de Chile, Chile.
- CDT. (2020). *Introducción a la Estrategia Economía Circular en la Construcción*. CDT. <https://www.cdt.cl/download/76721/>
- CDT. <https://www.cdt.cl/economia-circular-en-la-construccion/>
- Centro UC de Innovación en Madera. (s.f.). *Los Costos que Rodean a la Construcción con Madera en Chile: Números, Efectos y Acciones*. (Artículo). <https://madera.uc.cl/es/comunicacion/productos/articulos/195-los-costos-que-rodean-a-la-construccion-con-madera-en-chile-numero-efectos-y-acciones/file>
- Circle Economy. (2021). The Circularity GAP Report. <https://www.circularity-gap.world/2021>
- CONAMA. (2018). *Economía Circular en el Sector de la Construcción*. http://www.conama.org/conama/download/files/conama2018/GTs%202018/6_final.pdf
- Construye 2025. (06 de enero 2021). *2021 Abre con un Hito en Economía Circular: Así Será la Primera Planta de Valorización de Residuos en la Construcción en Chile*. Recuperado el 2 de julio de 2022 de, <https://construye2025.cl/2021/01/06/2021-abre-con-un-hito-en-economia-circular-asi-sera-la-primera-planta-de-valorizacion-de-residuos-de-la-construccion-en-chile/>
- Construye 2025, CORFO, GOB, Minvu, MOP y MMA. (2020). *Hoja de Ruta RCD Economía Circular en Construcción 2035*. <https://construye2025.cl/wp-content/uploads/2022/07/Hoja-de-Ruta-RCD-Economia-Circular-en-Construccion.pdf>
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2022). *Estrategia Economía Circular en Construcción*. CDT. https://www.cdt.cl/?post_type=dlm_download&p=738472
- EEA Report. (2019). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: technical guidance to prepare national emission inventories* (nº 13). <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
- EPD América Latina. (2015). *EPD América Latina. Epd-americalatina*. Recuperado el 3 de julio de 2022 de, <https://www.epd-americalatina.com>
- EPD Chile. (s.f.). *Quiénes Somos*. Recuperado el 3 de julio de 2022 de, <https://epdhubchile.wixsite.com/epdchile/quienes-somos>
- European Environment Agency. (s.f.). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook*. European Environment Agency. Recuperado el 22 de mayo de 2023 de, <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook/emep>

- Fernanda, M., González, P. (2022). *Estudio de emisiones atmosféricas: DIA Proyecto Prat Eyzaguirre*.
https://seia.sea.gob.cl/archivos/2022/03/09/Anexo_N_5_Estudios_de_Especialidad.rar
- Fernando, A. M., Bernath, P. F. y Boone, C. D. (2019). *Trends in atmospheric HFC-23 (CHF3) and HFC-134a abundances*. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 238, 1-8.
<https://www.sciencedirect-com.uchile.idm.oclc.org/science/article/pii/S0022407318308963>
- Fundación Ellen MacArthur. (2017a). *Cities and the Circular Economy*. *Ellen MacArthur Foundation*.
 Recuperado el 15 de junio de 2022 de,
<https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/explore/cities-and-the-circular-economy>
- Fundación Ellen MacArthur. (2017b). *What is the circular economy?* *Ellen MacArthur Foundation*.
 Recuperado el 08 de mayo de 2022 de, <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>
- Gonzales, K., Baque, B. y Regalado, J. (2021). *Revisión Sistemática de la Economía Circular en la Industria del Hormigón: Efecto Económico Ambiental*. Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba. <https://publicaciones.uci.cu/index.php/serie/article/view/768/644>
- Green Building Council Chile. (2022). *Chile Green Building Council*.
https://www.chilegbc.cl/assets/images/documentos/PRESENTACION%20CHILE%20GBC%20-%20CORPORACION_2022.pdf
- Hidalgo, E. (2018). *Residuos Generados en la Construcción de Viviendas*. (Trabajo de titulación).
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/45992/3560901543862UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INE. (06 de junio 2018). *El 45,87% de las viviendas de conjuntos habitacionales recepcionadas en los últimos años está en la Región Metropolitana*. INE. Recuperado el 07 de mayo de 2022 de,
<https://www.ine.cl/prensa/2019/09/16/el-45-87-de-las-viviendas-de-conjuntos-habitacionales-recepcionadas-en-los-últimos-años-está-en-la-región-metropolitana>
- Instituto de la Construcción. (22 de noviembre 2021). *Áridos Reciclados Disminuirían Fuertemente los Residuos en Construcción*. Recuperado el 2 de julio de 2022 de, <https://www.cdt.cl/aridos-reciclados-disminuirian-fuertemente-los-residuos-en-contruccion/>
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (Abril de 2019). *Hoja de Ruta Chile Industria del Cemento*. https://issuu.com/ich_mkt/docs/hoja_ruta_28032019
- IPCC. (2019). *Calentamiento Global de 1,5º*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- IPCC. (2021). *Technical Summary*.
https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_TechnicalSummary.pdf

- Jaillon, L., Poon, C. y Chiang, Y. (2009). *Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong*. *Waste management*, 29(2009), 309-320. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.015>
- Lu, W., Lee, W., Xue, F. y Xu, J. (2021). *Revisiting the effects of prefabrication on construction waste minimization: A quantitative study using bigger data*. *Resources, Conservation and Recycling*, 170(6), 105579 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105579>
- Martinez, K. (20 de julio de 2021). *Economía Circular*. <https://www.cdt.cl/wp-content/uploads/2021/08/Economia-Circular-Paper-ENASUM-Julio2021-MCZ-KM-VF-2.pdf>
- Ministerio de Relaciones Exteriores. (1992). *Decreto 685| Promulga el “Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación”*. BCN. Recuperado el 08 de junio de 2022 de, <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=87460&idParte=>
- Ministerio de Salud. (2008). *Decreto 189| Aprueba Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y de Seguridad Básicas en los Rellenos Sanitarios*. BCN. Recuperado el 10 de junio de 2022 de, <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=268137>
- Ministerio de Salud Pública. (31 de enero de 1968). *DFL 725| Decreto 725| Código Sanitario*. BCN. Recuperado el 08 de junio de 2022 de, <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5595&idVersion=2020-11-06>
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (25 de noviembre de 2015). *Ley 20879| Sanciona el Transporte de Desechos hacia Vertederos Clandestinos*. BCN. Recuperado el 10 de junio de 2022 de, <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1084262&idParte=0>
- Ministerio del Medio Ambiente. (01 de junio de 2016). *Ley 20920| Establece Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje*. BCN. Recuperado el 11 de junio de 2022 de, <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1090894&idParte=0>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2019). *Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales*. <https://retc.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/07/Guia-metodologica-para-la-estimacion-de-emisiones-provinientes-de-fuentes-puntuales.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (10 de abril de 2021). *Residuos*. (Capítulo 10). <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/10-residuos.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.). *Convenio de Basilea*. Economía Circular MMA. Recuperado el 08 de junio de 2022 de, <https://economicircular.mma.gob.cl/convenio-de-basilea/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.). *¿Qué son las ODS?* Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado el día 31 de marzo de 2022 de, <https://ods.mma.gob.cl/que-son-los-ods/>

- MINVU. (2018). *Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile*.
<https://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/ESTÁNDARES-DE-CONSTRUCCIÓN-SUSTENTABLE-PARA-VIVIENDAS-DE-CHILE-TOMO-I-SALUD-Y-BIENESTAR.pdf>
- Moles, B. (2022). *Rivetting reuse – making steel reuse best practice*. Salvo. Recuperado el 21 de agosto de 2022 de, <https://www.salvoweb.com/salvonews/35678-rivetting-reuse-making-steel-reuse-best-practice>
- ONU. (s.f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. ONU. Recuperado el día 31 de marzo de 2022 de, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/poverty/>
- ONU. (s.f.). *¿Qué es el cambio climático?* ONU. Recuperado el 09 de abril de 2022 de, <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- Osman, N. y Lee, N. (2016). *Evaluating the material waste reduction by using prefabrication in building construction in Kuala Lumpur*. Journal Special Edition.
<http://eprints.intimal.edu.my/616/1/JP%20-%204.pdf>
- Ossio, F. (2021). *Áridos reciclados disminuirán fuertemente los residuos en construcción*. Construye 2025. Recuperado el 20 agosto de 2022 de, <https://construye2025.cl/tag/felipe-ossio/>
- Ossio, F. De León, A., Ramos, C., y D'Alençon, R. (2022). *Economía circular en la construcción: estrategias de regulación de diseño arquitectónico*. ResearchGate, 35-45.
- Ossio, F. y Faúndes, J. (2021). *Diagnóstico Nacional de Sitios de Disposición Ilegal de Residuos*. (Reporte nro. 1).
https://www.researchgate.net/publication/348443724_Diagnostico_Nacional_de_Sitios_de_Disposicion_Ilegal_de_Residuos
- Ossio, F., Valderrama, C y Bravo, J. (2019). *Cuantificación Económica de los Residuos de Construcción de una Edificación en Altura: Un Caso de Estudio*.
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000200085&lng=pt&nrm=iso&tIng=pt
- Polpaico. (s.f.). *Manual del Constructor*. [https://www.polpaico.cl/wp-content/uploads/Manual del Constructor version A 25 ago 2021.pdf](https://www.polpaico.cl/wp-content/uploads/Manual%20del%20Constructor%20version%20A%2025%20ago%202021.pdf)
- Recylink. (s.f.). *Plataforma de Gestión Sustentable de Residuos*. Recylink. Recuperado el 01 de mayo de 2022 de, <https://www.recylink.com/nosotros>
- Rubio, L. (2016). *Materiales Reciclados*. (Seminario de Investigación). Universidad de Chile, Chile.
- SEREMI. (2020). *Guía para la estimación de emisiones atmosféricas en la Región Metropolitana*. Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado el 21 de marzo de 2023 de, <https://airerm.mma.gob.cl/guia-para-la-estimacion-de-emisiones-atmosfericas-en-la-rm/>
- Servicio de evaluación Ambiental. (s.f.). *Buscar y revisar proyectos*. Recuperado el 10 de abril de 2023 de, <https://www.sea.gob.cl>

- Shooshtarian, S., Maqsood, T., Caldera, S. y Ryley, T. (2022). *Transformation towards a circular economy in the Australian construction and demolition waste management system*, Sustainable Production and Consumption, 30(2022), 89-106.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.032>
- Sustainable in Steel. (s.f.). *Cradle to Cradle. Sustainable in Steel*. Recuperado el 18 de junio de 2022 de, https://www.sustainableinsteel.eu/p/544/cradle_to_cradle.html
- Tapia, A. (2018). *Gestión Sustentable de los Residuos de la Construcción y Demolición, en el Marco de una Economía Circular*. <http://construye2025.cl/rcd/wp-content/uploads/2019/09/Gesti%C3%ADa-SUSTENTABLE-de-los-Residuos-de-la-Construcci%C3%ADn-y-Demolici%C3%ADn-en-el-marco-de-una-Econom%C3%ADa-Circular.pdf>
- United States Environmental Protection Agency. (2023). *Air emissions factors and quantification*. EPA. Recuperado el 22 de mayo de 2023 de, <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>
- Urbano Proyectos. (2023). *Estimación de Emisiones Proyecto Vespucio Connect*.
<https://seia.sea.gob.cl/archivos/2023/02/23/DIA.pdf>
- Vallejos, C. y Navarro, V. (2021). *Estudio de emisiones atmosféricas – DIA Proyecto – “Arboleda de Chena”*(Versión 1).
https://seia.sea.gob.cl/archivos/2021/09/23/9e6_Anexo_N_4._Estudios_de_Especialidad.rar
- Vergara, A. (2022). *Beneficios que conllevaría la implementación de una metodología para la gestión de residuos de construcción y demolición en proyecto de expansión habitacional* [Proyecto de Título]. Universidad Mayor.
- World Green Building Council. (s.f.). *Circularity Accelerator*. Worldgbc. Recuperado el 12 de julio de 2022 de, <https://worldgbc.org/circularity-accelerator>
- (05 de noviembre 2019). *Escombros de la Construcción llenarían 15 veces el Estadio Nacional para 2025 ¿qué hacemos para evitarlo?* Construye 2025. Recuperado el 23 de abril de 2022, <https://construye2025.cl/2019/11/05/escombros-de-la-construccion-llenarian-15-veces-el-estadio-nacional-para-2025-que-hacemos-para-evitarlo/>

Esta plantilla fue preparada por el Prof. Mauricio Loyola para el grupo Tecnología del curso de Seminario de Licenciatura, en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile.