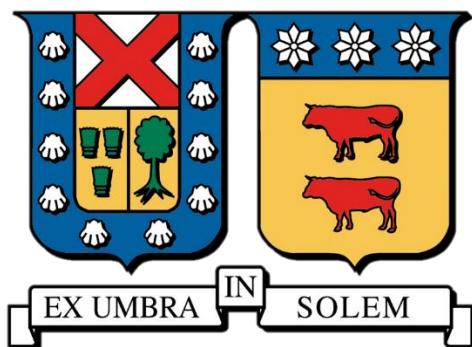


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO – CHILE



VALORIZACIÓN DE LOS POTENCIALES BENEFICIOS QUE APORTAN LOS DIFERENTES ATRIBUTOS
DE LAS CERTIFICACIONES Y SU IMPACTO EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

NICOLÁS IGNACIO MARDONES TORRES

Memoria para optar al Título de
Constructor Civil

Profesor Guía
Francisco Lagos

Marzo 2024
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Agradecimientos.

Agradezco a mi familia en general, padres, pareja, hermano, abuelos, tíos, amigos y profesores. Esto no lo habría logrado sin ustedes, gracias por el apoyo incondicional.

Resumen.

La construcción es uno de los sectores que más aporta al desarrollo económico del país, pero también uno de los que más contamina. Así mismo, el potencial que se tiene de disminución de emisiones es considerablemente alto. Ante este hecho, existen diferentes certificaciones, tales como LEED, CES y CVS, que se basan en una serie atributos para respaldar y confirmar beneficios medioambientales.

La presente memoria tiene como finalidad valorizar los potenciales beneficios que entregan los diferentes atributos que evalúan las certificaciones, desde el diseño hasta la construcción, con impacto en la operación en el ámbito económico. Para lograr este objetivo se detallarán dichos atributos, en conjunto con estrategias para cumplir con los requisitos necesarios y cómo estas estrategias afectan e influyen en un proyecto, tanto a nivel de diseño, construcción y operación. Se plantearán diferentes escenarios y de manera genérica se creará un modelo estimativo para determinar porcentaje de inversión y de retorno.

Se determinó que, el modelo de certificación LEED se presenta como el método más completo en su forma de describir, abordar y mitigar la situación ambiental actual, abarcando la evaluación de la mayor cantidad de posibles impactos involucrados en la edificación utilizando una estructura que permite visualizar de manera óptima los beneficios de una medida ecoeficiente en un proyecto determinado. Por otra parte, la implementación de este sistema de certificación está demostrada, debido; al explosivo aumento de los proyectos que buscan certificarse, a la gran cantidad de profesionales acreditados y a su desarrollo a nivel internacional, se espera que Chile siga siendo uno de los países pioneros en Latinoamérica en tema de certificaciones y que de aquí al 2025 tanto la metodología BIM como las certificaciones sea obligatoria para toda edificación.

Abstracts.

Construction is one of the sectors that contributes the most to the country's economic development, but it is also one of the most polluting. Likewise, the potential to reduce emissions is considerably high. Given this fact, there are different certifications, such as LEED, CES and CVS, which are based on a series of attributes to support and confirm environmental benefits.

The purpose of this investigation is to value the potential benefits provided by the different attributes that the certifications evaluate, from the design to construction, with an impact on the operation in the economic field. To achieve this objective, these attributes will be detailed, together with strategies to meet the necessary requirements and how these strategies affect and influence a project, both at the design, construction, and operation levels. Different scenarios will be proposed and in a generic way an estimative model will be created to determine the percentage of investment and return.

It was determined that, The LEED certification model is presented as the most complete method in its way of describing, addressing, and mitigating the current environmental situation, encompassing the evaluation of the greatest number of possible impacts involved in the building using a structure that allows optimal visualization of the benefits of an eco-efficient measure in a given project. On the other hand, the implementation of this certification system is proven, due; Due to the explosive increase in projects seeking certification, the large number of accredited professionals and their development at an international level, it is expected that Chile will continue to be one of the pioneering countries in Latin America in terms of certifications and that by 2025 both the methodology BIM, like certifications, is mandatory for all buildings.

Contenido.

Agradecimientos.....	2
Resumen.....	3
Abstracts.....	4
1. Introducción.....	13
1.1. Antecedentes.....	13
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1. General	15
1.2.2. Específico	15
2. Marco teórico.....	15
2.1. Certificación LEED.....	15
2.1.1. Antecedentes.....	15
2.1.2. Objetivos	16
2.1.3. Actores Certificación LEED	16
2.1.4. Niveles de Certificación LEED	17
2.1.5. Atributos de sustentabilidad evaluados	18
2.1.6. LEED en Chile	34
2.2. Certificación CES.....	39
2.2.1. Antecedentes.....	39
2.2.2. Objetivos	41

2.2.3.	Actores Certificación CES	41
2.2.4.	Niveles de Certificación CES	42
2.2.5.	Atributos de sustentabilidad evaluados	42
2.2.6.	CES en Chile	50
3.	Metodología para el desarrollo de la memoria	51
4.	Análisis de resultados	52
4.1.	Proceso Integral – Gestión	53
4.1.1.	BIM	58
4.1.2.	Problemas en la etapa de diseño	60
4.1.3.	Costos implementación	63
4.1.4.	Beneficios:	74
4.1.4.1	Resumen proyectos analizados	74
4.2.	Localización y Transporte	76
4.2.1.	Ciudad y Medio Natural	77
4.2.2.	Consumo de suelo de valor silvoagropecuario	77
4.2.3.	Estructuración.....	77
4.2.4.	Relación con el campo	77
4.2.5.	Relación con el borde costero	78
4.2.6.	Calidad Urbana	78
4.2.7.	Localización de Actividades Económicas.	79

4.2.8.	Suelo Urbano	80
4.2.9.	Concepto de Plusvalía	81
4.2.10.	Proyectos:	82
4.2.11.	Características que determinan el valor de UF/m2:	89
4.3.	Materiales y Recursos- Residuos	91
4.3.1.	Medidas para controlar los residuos en la construcción	91
4.3.2.	Ferrock	96
4.3.3.	Fibra de Carbono	97
4.3.4.	Cristal acrílico:	99
4.3.5.	Plastic bricks - Ecoladrillos	101
4.3.6.	Materiales reciclables en la industria de la construcción	102
4.4.	Eficiencia del agua- Agua	103
4.4.1.	Artefactos:	106
4.4.2.	Consumo de Agua en Chile:	113
4.4.3.	Costos artefactos con eficiencia:	114
4.5.	Energía y Atmosfera – Energía	114
4.5.1.	Microeconómico y macroeconómico	116
4.5.2.	Barreras	117
4.5.3.	Costos de la eficiencia energética	119
4.5.4.	Beneficios económicos de la eficiencia energética	121

4.5.5.	TIR.....	123
4.5.6.	Programas de eficiencia energética	123
4.5.7.	Costos de programas de eficiencia energética	125
4.6.	Calidad de ambiente interior	126
4.6.1.	Importancia del CAI	127
4.6.2.	¿Cómo se mide la calidad del aire en una empresa?	128
4.6.3.	El RDI de la calidad del aire interior	129
4.6.4.	Productividad de los empleados.....	130
5.	Conclusiones	132
	Bibliografía.....	138

Índice de tablas.

Tabla 1	Sistema de certificación LEED	16
Tabla 2:	Variables de atributos	53
Tabla 3:	Distribución del tiempo y tiempos de espera en los procesos de diseño.	60
Tabla 4:	Información de costos de adopción BIM aportada por consultores y contratistas MOP-MINVU.....	64
Tabla 5:	Costos de adopción BIM aportadas por consultores y contratistas MOP-MINVU con facturación inferior a 2.400 UF anuales.	65
Tabla 6:	Costos de adopción BIM aportadas por consultores y contratistas MOP-MINVU con facturación entre 2.401 y 25.000 UF anuales.	66

Tabla 7: Costos de adopción BIM aportadas por consultores y contratistas MOP-MINVU con facturación entre 25.001 y 100.000 UF anuales.	66
Tabla 8: Costos de adopción BIM aportadas por consultores y contratistas MOP-MINVU con facturación mayor a 100.001 UF anuales.	67
Tabla 9: Costos de adopción BIM promedio por especialidad de consultores y contratistas MOP-MINVU por tramo de facturación.	67
Tabla 10: Costos promedios de adopción BIM por monto de facturación de consultores y contratistas MOP-MINVU.	68
Tabla 11: Costos promedios de adopción BIM por monto de facturación de consultores y contratistas MOP-MINVU.	68
Tabla 12: Costos de adopción BIM de consultores y contratistas MOP-MINVU con entre 10 y 20 trabajadores.	68
Tabla 13: Costos por variable y operaciones.	72
Tabla 14: Comparación costos BIM/CAD corto plazo.	73
Tabla 15: Comparación costos BIM/CAD largo plazo.	73
Tabla 16: Información de proyectos.	75
Tabla 17: ROI de la aplicación BIM en los tres proyectos analizados.	75
Tabla 18: UF/M2 proyecto Salinas del Mar II.	85
Tabla 19: UF/M2 proyecto Playa Cochoa.	87
Tabla 20: Alternativas para los actuales materiales utilizados en la industria de la construcción.	96
Tabla 21: Consumo ESVAL.	105
Tabla 22: Consumo Lavaplatos y lavamanos.	106
Tabla 23: Consumo grifería con temporizador.	106
Tabla 24: Consumo grifería con sensores.	106

Tabla 25: Consumo duchas.	107
Tabla 26: Consumo inodoros.	107
Tabla 27: Consumo urinarios.	109
Tabla 28: Consumo lavadora.	110
Tabla 29: Consumo riego y jardín.	110
Tabla 30: Resumen de consumos.	112
Tabla 31: Tabla de ahorros.	113
Tabla 32: Consumo por artefacto en Chile	113
Tabla 33: Ahorros e incidencias artefactos bajo consumo	113

Índice de gráficos.

Gráfico 1: La industria de la construcción en Chile. Banco Central (2012), INE (2012), CONAMA (2010)	24
Gráfico 2: Distribución del uso de energía en un edificio	29
Gráfico 3: Proyectos LEED registrados en el mundo (USGBC, 2022).	35
Gráfico 4:Proyectos LEED certificados en el mundo (USGBC, 2022).	35
Gráfico 5: Proyectos LEED en Chile (USGBC, 2022).	36
Gráfico 6: Proyectos LEED certificados en Chile (USGBC, 2022).	36
Gráfico 7: Proyectos inscritos en Chile (USGBC, 2022).	37
Gráfico 8: Proyectos LEED en Latinoamérica (CCCS, 2021).	38
Gráfico 9: Proyectos CES en Chile.....	51
Gráfico 10: Esfuerzo/efecto vs Tiempo de las gestiones en cada etapa de un proyecto.	54

Gráfico 11: Cantidad v/s Obra de distintos para factores a considerar en certificaciones (CChC, 2020).	56
Gráfico 12: Pérdidas más frecuentes	61
Gráfico 13: Fuentes de pérdidas más frecuentes	62
Gráfico 14: Causas de No Cumplimiento	62
Gráfico 15: Energía Gris de los materiales utilizados en la Construcción en Chile, para metales y materiales no metálicos, respectivamente	94
Gráfico 16: Factor de emisión de dióxido de carbono de los materiales usados en la construcción	95
Gráfico 17: Comparación de costos de materiales de fabricación reconocidos (material versus costo/lb)	99

Índice de ilustraciones.

Ilustración 1: Niveles de certificación LEED	17
Ilustración 2: Atributos de sustentabilidad	18
Ilustración 3: Puntos por atributo	19
Ilustración 4: Proceso de certificación CES	39
Ilustración 5: Etapas de certificación CES	40
Ilustración 6: Niveles de certificación CES	42
Ilustración 7: Esquema de la Calidad del Ambiente Interior	43
Ilustración 8: Cantidades de Proyectos bajo certificación CES	50
Ilustración 9: Esquema de comparación Industria de la Construcción de Chile y Países referentes (CChC, 2020).	55

Ilustración 10: Información proyecto Salinas del Mar II	83
Ilustración 11: Ubicación proyecto Salinas del Mar II.....	83
Ilustración 12: Cotización proyecto Salinas del Mar II	84
Ilustración 13: Planta proyecto Salinas del Mar II	85
Ilustración 14: Información proyecto Playa Cochoa	86
Ilustración 15: Ubicación proyecto Playa Cochoa	86
Ilustración 16: Cotización Playa Cochoa.....	87
Ilustración 17: Planta proyecto Playa Cochoa	88
Ilustración 18: Esquema beneficios Construcciones Sustentables	92
Ilustración 19: Materiales de Construcción más utilizados en la industria de la Construcción en Chile, con los respectivos fines en los que son utilizados	93
Ilustración 20: Plastic bricks.....	102
Ilustración 21: Beneficios de la salud.....	127

1. Introducción.

1.1. Antecedentes.

En Chile y el mundo el cambio climático ya es un tema que afecta el presente, y es responsabilidad de todos aportar a la disminución de los efectos nocivos para el medio ambiente.

La construcción juega un papel significativo en la reducción de emisiones, ya que es uno de los ámbitos con mayor potencial según el IPCC, y es responsable de casi un tercio de los residuos generados en Chile, según estudios del (MINVU, 2018) en su documento "Estándares de construcción sustentable para viviendas".

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), en el año 2030, aproximadamente el 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) proyectadas en el sector de la construcción pueden ser evitadas con beneficios económicos netos.

Ante esto se han creado diferentes certificaciones, tales como LEED, CES y CVS, las que respaldan y confirman si se cumple con un criterio definido que aporte beneficios medioambientales basados en parámetros de ciclo de vida.

En la presente memoria serán descritos los atributos de evaluación de distintas certificaciones, poniendo especial énfasis en los beneficios. Según el Congreso de la Innovación en Construcción, organizado por la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), la construcción verde proporciona beneficios tanto medioambientales, reduciendo el consumo de energía, agua, residuos y emisiones contaminantes; como sociales, mejorando la calidad de la salud de la comunidad y la productividad de los empleados. Además, presenta beneficios económicos, como el aumento de la plusvalía, las ventas y la productividad, así como ahorros tanto durante el proceso de construcción como en la operación continua del edificio (CChC, 2017). Se detallarán estrategias para cumplir con los requisitos necesarios y

cómo estas estrategias afectan e influyen en un proyecto, tanto a nivel de diseño, construcción y operación.

De momento, la normativa nacional establece sistemas constructivos con criterios mínimos, mientras que las certificaciones superan por mucho estos principios. Ante esto, muchas empresas constructoras no se desarrollan en proyectos certificados, dado que su principal objetivo es maximizar beneficios o disminuir costos, sin darse cuenta de que una certificación además de contribuir al cambio climático, entrega beneficios. Estos beneficios no solo son medioambientales y sociales, también son económicos, cuestión que muchas empresas e inversionistas no conocen del todo. (CDT, 2021)

Existen inversiones en el ámbito ambiental, que generan un mayor costo, pero también generan retornos, y en esta memoria, vamos a llegar al resultado para poder analizarlo y determinar la conveniencia de incursionar en proyectos de estas características. Al construir proyectos en base a certificaciones LEED, existen ahorros en agua, energía, sobrecostos por planeación incorrecta, costos de operación, etc., en tiempos de retorno que oscilan entre los 1 y 4 años, sin pasar de los 6 (CCCS, 2021).

1.2. Objetivos.

1.2.1. General

- Valorizar los potenciales beneficios que entregan los diferentes atributos de evaluación al trabajar con proyectos certificados, desde el diseño hasta la construcción, con impacto en la operación en el ámbito económico.

1.2.2. Específico

- Identificar fallas y problemáticas solucionables desde las ramas que evalúan las certificaciones.
- Evaluar costos asociados a los atributos de evaluación de las certificaciones, tanto directos como indirectos y contrastarlos con la no aplicación de éstos.

2. Marco teórico.

2.1. Certificación LEED.

2.1.1. Antecedentes

La certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design o Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental), es un método de evaluación de edificios verdes, a través de la implementación de mejores prácticas y estrategias de diseño, construcción y operación, cuyos beneficios son cuantificables.

Es un sistema voluntario y consensuado, elaborado en Estados Unidos en el año 2000 por el U.S. Green Building Council o USGBC, que mide entre otras cosas, el uso eficiente de la energía y el agua, la correcta utilización de materiales, el manejo de desechos en la construcción y la calidad del ambiente interior en las edificaciones.

La certificación podrá ser aplicada según los diferentes sistemas de certificación LEED de acuerdo al tipo de proyecto que se desea desarrollar:

SISTEMA	APLICA PARA
BD+C- Building Design and Construction Diseño y Construcción del Edificio	Edificios que están en proceso de diseño y construcción o en proceso de una renovación mayor (envolvente, equipos de climatización, etc.
ID+C- Interior Design and Construction Diseño Interior y Construcción	Proyectos de habilitación de espacios interiores de edificios.
O+M- Operations and Maintenance Operaciones y Mantenimiento	Edificios existentes que se someten a procesos de mejora o de poca o ninguna construcción.
ND- Neighborhood Development Desarrollo de Vecindar	Planificación urbana y desarrollo urbano.
HOMES Viviendas	Proyectos residenciales de nueva construcción o en proceso de una renovación mayor.

Tabla 1 Sistema de certificación LEED

2.1.2. Objetivos

El objetivo de LEED es, mejorar la forma de diseñar, construir, operar y mantener las edificaciones a fin de disminuir los impactos ambientales resultantes durante su ciclo de vida obteniendo espacios más saludables, seguros y confortables para sus usuarios. La importancia de contar con un sistema de certificación radica la seriedad y confianza que otorga la verificación por parte de un tercero a partir del uso de estándares exigentes logrando que los proyectos certificados, tengan un desempeño medioambiental muy por sobre sus pares y que, al mismo tiempo, este sea certificado por una entidad independiente.

2.1.3. Actores Certificación LEED

- Organismo certificador: Organismo facultado para otorgar la certificación LEED. En este caso USGBC (U.S. Green Building Council).

- Organismo revisor: Realiza la evaluación y la verificación del cumplimiento los requerimientos de LEED. En este caso el Green Business Certification Institute (GBCI).
- Consultor: Actúan asesorando los proyectos. Normalmente se encarga de definir las estrategias de sustentabilidad junto al equipo de proyecto, recopilar la documentación de respaldo de cada estrategia y el envío al GBCI para su revisión y posterior obtención de la certificación.

2.1.4. Niveles de Certificación LEED

La certificación LEED plantea un sistema basado en la sumatoria de puntaje, en donde el mínimo es de 40 puntos y el máximo de 110. Lo puntos se asignan a “créditos”, son siempre números enteros, en donde el mínimo es 1 y el máximo 21 dependiendo del crédito y la tipología de proyecto. Existen 4 categorías de certificación según el total obtenido una vez enviado a revisión el proyecto y verificado además que se hayan cumplido todos los prerrequisitos, los cuales son obligatorios y no otorgan puntos.

- LEED Platinum (Platino): para edificios que obtienen 80 o más puntos.
- LEED Gold (oro): para edificios que obtienen entre 60 y 79 puntos.
- LEED Silver (plata): para edificios que consiguen en la franja de 50 a 59 puntos.
- LEED Certified (Certificado): para edificios que obtienen entre los 40 y los 49 puntos.



Ilustración 1: Niveles de certificación LEED

2.1.5. Atributos de sustentabilidad evaluados

La certificación está organizada en nueve categorías. Estas nueve categorías o áreas de intervención se distribuyen en créditos que totalizan como máximo 110 puntos. Se plantea un sistema de certificación multicriterio, cubriendo distintos aspectos de sustentabilidad y por lo tanto abordando los diferentes impactos potenciales de un proyecto durante su vida útil, además en los beneficios sociales y económicos y en el uso eficiente de recursos. Considera prerequisites obligatorios y créditos voluntarios y que otorgan puntaje.



Ilustración 2: Atributos de sustentabilidad

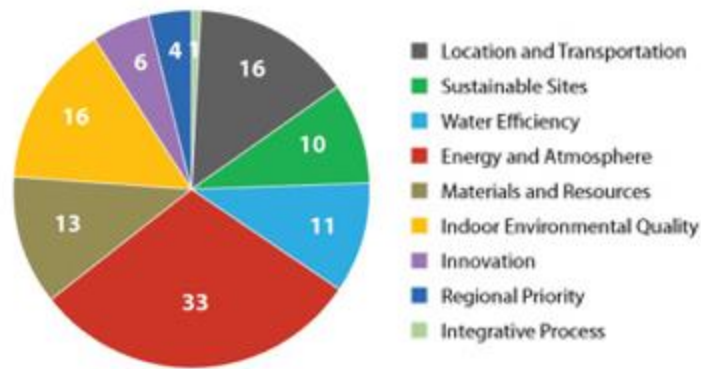


Ilustración 3: Puntos por atributo

2.1.5.1. Proceso Integral

En relación con los edificios ecológicos, un proceso integrado es un método interdisciplinario para el diseño y el funcionamiento de entornos construidos de manera sustentable. Puede usarse en todas las etapas de un proyecto de edificio ecológico, desde el diseño y la construcción hasta la reutilización o la deconstrucción. Un proceso integrado brinda oportunidades de considerar los recursos de nuevas maneras. Alienta a los profesionales a pensar y tomar decisiones de manera integral. Por ejemplo, en el proceso convencional de diseño de edificios, los hidrólogos, ingenieros civiles, ingenieros mecánicos y paisajistas toman decisiones relacionadas con el agua. Sin embargo, a menudo estos profesionales diseñan sus propios planes individuales para el uso de agua potable, necesidades de riego, eliminación de aguas residuales y gestión de aguas pluviales. A diferencia de esto, un proceso integrado es altamente colaborativo. Los procesos de planificación, diseño, construcción y operaciones convencionales a menudo no logran reconocer que los edificios forman parte de sistemas más grandes y complejos. Como resultado, al solucionar un problema podríamos estar creando otros problemas en algún lugar del sistema.

Cuando se usa un enfoque integrado basado en sistemas, la solución a un problema puede conducir a la solución a muchos problemas. El proceso de planificar el uso del agua en un proyecto

podría llevar a diseñar sistemas que captan agua de lluvia y aguas grises para satisfacer las necesidades de suministro y riego a la vez que se reduce la escorrentía y se protege la calidad del agua.

El proceso integrado requiere más tiempo y colaboración durante la fase conceptual y la fase de diseño iniciales del que requieren las prácticas convencionales. Se debe consagrar tiempo a la formación del equipo, el establecimiento de objetivos y el análisis antes de tomar decisiones o implementarlas. No obstante, esta inversión inicial de tiempo reduce el tiempo que lleva producir documentos de construcción. Dado que los objetivos se han explorado y urdido exhaustivamente a lo largo del proceso, los proyectos pueden ejecutarse más cuidadosamente, se puede sacar provecho de las sinergias de los sistemas del edificio y satisfacer mejor las necesidades de sus ocupantes o comunidades y, en última instancia, también ahorrar dinero.

2.1.5.2. Localización y Transporte

La intención de la categoría localización y transporte consiste en premiar la construcción de edificios en zonas urbanas desarrolladas de alta densidad (compacta), que incluya transporte alternativo de calidad (transporte público, bicicleta, coche compartido o vehículos verdes) y que permita la accesibilidad a los servicios más importantes (centro médico, supermercado, farmacia, trabajo, etc..), para cualquier usuario dentro de una distancia razonable (caminando o en bicicleta). Todas estas estrategias permiten por un lado reducir la necesidad de construir nuevas infraestructuras, con el coste económico y material, además del impacto medioambiental que esto supone, aprovechando las ya existentes; y por otro lado el uso de transporte alternativo al vehículo privado permite reducir considerablemente las emisiones de CO₂ asociadas al transporte.

El transporte terrestre, conformado por buses, camiones, vehículos livianos, motocicletas; es responsable del 24,1% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Chile, equivalente a 37

Gton de CO₂e (INGEI, 2018). Generalmente, esto es el resultado de tres factores fundamentales: Uso de la tierra, tecnología vehicular y combustibles para el transporte.

Si se presta atención a cada uno de esos factores, es posible reducir las consecuencias del transporte. Las decisiones sobre el uso de la tierra pueden ayudar a reducir la longitud y la frecuencia de los viajes en vehículos y alientan el cambio hacia modos de transporte más sustentables. La tecnología vehicular determina la cantidad y los tipos de sistemas de energía y soporte necesarios para trasladar a personas y bienes al sitio. El combustible determina el impacto ambiental de la operación vehicular. Los esfuerzos actuales por mejorar la eficiencia de combustible para vehículos y reducir la intensidad de carbono del combustible de los motores podría no ser suficiente para cumplir con los objetivos de reducción de gases de efecto invernadero a menos que estén acompañados por cambios significativos en el uso de la tierra y el comportamiento humano. Independientemente de las inversiones importantes en tecnología y energía alternativa, una planificación defectuosa puede causar un aumento neto en las emisiones de gases de efecto invernadero a medida que las personas que viajan al trabajo consideran las opciones de transporte para ir al trabajo, a la escuela, a su hogar o para hacer trámites. Promover el transporte alternativo como una opción viable y conveniente mediante la selección del sitio, el diseño y los incentivos beneficia tanto a los ocupantes del edificio como al desarrollador. Los sistemas de clasificación de LEED le otorgan flexibilidad a los equipos de proyecto al momento de considerar las necesidades específicas del sitio y las oportunidades para el transporte alternativo. Los equipos de proyectos pueden reducir los efectos del transporte garantizando el acceso a modos de transporte alternativos, alentando a caminar y andar en bicicleta, y proporcionando instalaciones de combustible para vehículos con combustible alternativo. También se recompensa la reducción de la cantidad y la duración de los viajes en automóvil mediante la localización en áreas de alta densidad, donde los ocupantes y los visitantes pueden usar más fácilmente las redes de transporte existentes. Los sitios sin

acceso al transporte público están en desventaja y podrían requerir atención adicional en torno al transporte, especialmente respecto al diseño del uso de la tierra y a los combustibles alternativos. Aún es posible para un proyecto de esta índole reducir significativamente los efectos del transporte si el equipo se centra en la conectividad local y la eficiencia energética de los vehículos usados para satisfacer estas necesidades. Por ejemplo, un complejo de oficinas sin acceso al tránsito podría proporcionar incentivos para compartir el transporte, incorporar diversos usos de la tierra que permitan a los trabajadores caminar hasta los servicios básicos o facilitar el uso de vehículos con combustible alternativo como los híbridos eléctricos.

2.1.5.3. Materiales y Recursos

Los materiales y recursos son la base de los edificios en los que vivimos y trabajamos, así como aquello con los que los llenamos, la infraestructura que lleva a las personas hasta y desde el edificio y las actividades que se llevan a cabo allí. La naturaleza ubicua de los materiales y recursos facilita que se pase por alto el historial y los costos asociados con la producción, el transporte, el consumo y el desecho. Los materiales comienzan por lo general como materias primas de todo el mundo. Se las transporta, refina, fabrica y empaqueta para la venta. En un sistema convencional, las cosas se compran, consumen y descartan, a menudo en un vertedero. Pero cada uno de los pasos de este proceso de producción, consumo y desecho tiene consecuencias significativas ambientales, sociales y económicas.

Establecer los objetivos para el uso de materiales y recursos sustentables es un paso importante del proceso de edificación ecológica. “Reducir, reutilizar, reciclar” puede parecer un componente esencial de este trabajo: claramente, la reducción del consumo es algo fundamental y la reutilización y el reciclado de desechos son estrategias importantes. No obstante, un edificio ecológico requiere también repensar la selección de los materiales. Lo ideal es que los materiales y recursos utilizados en los edificios no solo produzcan un daño menor, sino que vayan más allá y regeneren los ambientes

naturales y sociales de los cuales se originan. Para evaluar cuáles son las mejores opciones y analizar los pros y los contra asociados con una elección, los equipos deben pensar más allá de los límites físicos y temporales de un proyecto. La evaluación del ciclo de vida puede ayudar a un equipo a tomar decisiones informadas y justificables. Existen infinitas oportunidades de reducir los daños asociados con los materiales. Utilizar menos materiales, encontrar materiales con atributos preferibles en lo que respecta al medio ambiente, utilizar materiales recolectados a nivel local y eliminar los desechos representan un gran comienzo. Una perspectiva del ciclo de vida basada en sistemas y un proceso integrado contribuirá para que los proyectos alcancen sus objetivos al tratar el tema del uso de recursos y materiales.

Un edificio genera una gran cantidad de desechos durante su ciclo de vida. La reducción significativa de desechos comienza con la eliminación de la necesidad de materiales durante las fases de planificación y diseño. Por ejemplo, en comparación con comunidades en crecimiento rápido, los vecindarios urbanos más poblados y compactos de uso mixto requieren menos kilómetros de caminos y menos infraestructura física para brindar soporte a la misma cantidad de personas. De igual modo, los edificios y hogares más pequeños y contruidos de manera más eficiente requieren menor cantidad de madera o menos metros lineales de tuberías, así como menos recursos que conservar. Los contratistas experimentados tienen por lo general grandes ideas para la implementación de estas estrategias para el ahorro de materiales. Consultarlos en las fases iniciales de un proceso integrado, en vez de esperar hasta que el diseño esté completo, puede agregar valor real al equipo de diseño y al proyecto en general.

Muchos atributos pueden ser la base para designar a un producto como ecológico y estos pueden darse en cualquiera de las fases de su ciclo de vida útil. Comúnmente, los productos se denominan como preferentemente ecológicos debido a que:

- Son recolectados o extraídos y fabricados localmente

- Son cultivados y cosechados de manera orgánica o sustentable
- Están hechos a partir de materiales rápidamente renovables, aquellos que pueden reponerse naturalmente en un período breve (para LEED, en un período de 10 años)
- Tienen contenido reciclado
- Están hechos de materiales biodegradables o susceptibles de convertirse en abono
- Son libres de toxinas
- Son perdurables, duraderos y reutilizables
- Están fabricados en fábricas que apoyan la salubridad y los derechos de los trabajadores

Por otro lado, la construcción de edificios genera grandes cantidades de desechos sólidos, y los desechos se generan durante todo el ciclo de vida del edificio a medida que se utilizan productos nuevos y se descartan los materiales utilizados. Estos desechos pueden transportarse hasta vertederos, incinerarse, reciclarse o convertirse en abono. El descarte de desechos sólidos contribuye directamente a las emisiones de gases de efecto invernadero mediante el transporte y, tal vez más significativamente, la producción de metano (un potente gas de efecto invernadero) en vertederos. La incineración de desechos produce dióxido de carbono como un producto residual.

La industria de la construcción representa:

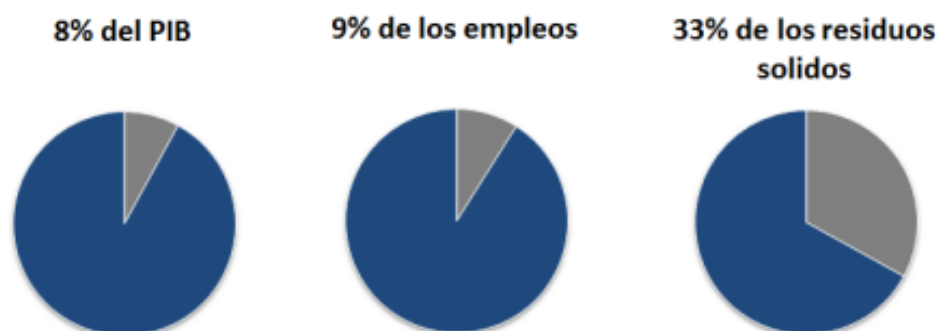


Gráfico 1: La industria de la construcción en Chile. Banco Central (2012), INE (2012), CONAMA (2010)

La construcción contempla un tercio de los residuos sólidos del país, siendo solo una fracción de empleos y del Producto Interno Bruto (PIB) (9 y 8% respectivamente) (INE, 2012). Esto, sumado a que según el Informe del Estado del Medio Ambiente 2020, en Chile el 2018 se generó un total de 19,6 millones de toneladas de residuos sólidos anuales (IEMA, 2020). El destino de estos residuos se distribuye de dos formas: 22% se valoriza o recicla y el 78% se va a eliminación, de este modo los basurales, rellenos sanitarios, microbasurales u otros espacios destinados a la disposición final, no hacen más que crecer.

El objetivo de los créditos de LEED en esta categoría es reducir los desechos generados que van hacia los vertederos o las instalaciones de incineración y se eliminan en ellos. Durante la construcción o renovación, se deben reciclar o reutilizar los materiales siempre que sea posible. Durante las operaciones diarias del edificio, los programas de reciclado, reutilización y reducción pueden frenar la cantidad de material destinado a vertederos locales.

2.1.5.4. Eficiencia del Agua

De acuerdo al primer informe de la Mesa Nacional del Agua, el consumo de agua en Chile se ha incrementado en los últimos años, con extracciones que ascienden a 4.900 m³/s, equivalentes a 166 mil millones de m³/año. Mientras que el consumo per cápita en Chile está en torno a los 170 litros por persona al día (DGA, 2022).

A medida que se expande el desarrollo residencial, comercial, industrial y de otra índole, también lo hace el uso del suministro limitado de agua potable, agua apta para beber. La mayoría de los edificios dependen de las fuentes municipales de agua potable para satisfacer sus necesidades, desde las descargas de inodoros, hasta el lavado de vajilla y el riego de jardines. La alta demanda agota el suministro y en condiciones extremas exige el racionamiento del agua. Asimismo, grandes cantidades de aguas residuales pueden inundar las instalaciones de tratamiento, y el flujo excedente no tratado puede

contaminar ríos, lagos y napas de agua con bacterias, nitrógeno, metales tóxicos y otras sustancias contaminantes. Para evitar dañar de esta manera el ecosistema, se deben construir plantas de tratamiento y suministro municipales, con fondos del dinero público. El bombeo y tratamiento del agua, tanto de la que ingresa al proyecto como de la que sale, también requiere energía, cuya producción genera emisiones de gases de efecto invernadero adicionales.

La construcción ecológica fomenta estrategias innovadoras para el ahorro de agua que ayudan a los proyectos a usar el agua con discreción. Debe existir un proceso integrado para comenzar a evaluar los recursos de agua existentes, las oportunidades para reducir la demanda de agua y los suministros de agua alternativos. Por ejemplo, gran parte del agua que abandona el sitio en forma de aguas residuales o escorrentía de aguas pluviales puede, de hecho, usarse para funciones no potables.

Algunos usan las precipitaciones anuales en el sitio para determinar la cantidad de agua que deberían usar. Es evidente que el enfoque con respecto al balance de agua es más alcanzable para los proyectos que reciben más lluvia y requieren menos riego. Se requiere reducir la demanda mediante el diseño de sitios que minimicen o eliminen la necesidad de riego, y mediante la instalación de accesorios de plomería que conservan el agua (como los lavatorios de bajo flujo e inodoros de doble descarga) o eliminan la demanda por completo (como los orinales sin agua y los inodoros de compostaje). Asimismo, se pueden utilizar aguas pluviales recolectadas y aguas grises tratadas en lugar de agua potable para las descargas de inodoros, el riego y las torres de enfriamiento. El valor de una medida en particular para los esfuerzos de conservación del agua generales depende de los usos finales en el proyecto. Por ejemplo, los edificios de oficinas por lo general carecen de grandes instalaciones de lavandería y cocina; el agua se utiliza para los sistemas de HVAC, las salas de descanso y los jardines. Por contraste, los fregaderos y los lavavajillas de las cocinas dominan el uso final en el caso de los restaurantes. Se puede usar un perfil de uso final del agua para ayudar a los equipos de proyecto a identificar a los principales

usuarios de agua y evaluar la rentabilidad de las estrategias de conservación específicas, ya sean accesorios de bajo flujo, tecnología de riego o sistemas de torres de enfriamiento eficientes. Las estrategias de eficiencia, combinadas con los sistemas de monitoreo que realizan un seguimiento del consumo de agua e identifican problemas a medida que surgen, pueden mejorar significativamente la conservación del agua en comparación con el uso del agua en edificios convencionales. LEED recompensa a aquellos proyectos que logran reducir la demanda de agua y reutilizar el agua para usos interiores y exteriores.

Por un lado, el uso interior incluye agua para orinales, inodoros, duchas, fregaderos de cocina o lavabos en las salas de descanso, y otras aplicaciones tradicionales de los edificios ocupados. El uso del agua en interiores puede reducirse mediante la instalación de accesorios y apliques eficientes en el uso del agua, que utilizan agua no potable para cumplir funciones de descarga; y mediante la instalación de sub-medidores para realizar un seguimiento y registrar las tendencias de uso del agua, revisar el desempeño de los accesorios e identificar problemas. Los edificios también utilizan cantidades significativas de agua para distintos procesos y sistemas industriales, como las torres de enfriamiento, las calderas y los enfriadores. Estos sistemas proporcionan tanto calor como aire frío y agua para las operaciones del edificio.

Por otro lado, lo que concierne al uso del agua exterior, el riego de jardines es un componente significativo del uso del agua en muchos edificios comerciales, y presenta una oportunidad importante para conservar agua. Las reducciones en los riegos pueden lograrse especificando tecnología inteligente para jardines y riego con eficiencia de agua, usando agua no potable e instalando sub-medidores para realizar un seguimiento y un registro de las tendencias de riego.

2.1.5.5. *Energía y Atmósfera*

La energía ha surgido como un asunto económico fundamental y una prioridad clave para los creadores de políticas. El suministro y la demanda de energía sustentable tienen implicancias graves para todo, desde presupuestos hogareños hasta relaciones internacionales. Los edificios están primeros en este asunto debido al alto consumo energético. Los estudios han mostrado repetidamente que los edificios eficientes y el uso apropiado de la tierra ofrecen oportunidades de ahorrar dinero a la vez que se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero. Un estudio de este tipo, que llevó a cabo el New Buildings Institute, investigó 121 edificios de oficinas comerciales certificados por LEED en los Estados Unidos, y descubrió que usaban un 24% menos de energía que el promedio nacional (NBI, 2011).

El ahorro de energía comienza con la conservación: la reducción de la demanda de energía. Los edificios y las comunidades ecológicas pueden reducir la demanda de energía al capturar la energía natural incidente, como la luz solar, el viento y el potencial geotérmico, lo que reduce las cargas.

Una vez abordadas las estrategias de reducción de la demanda, se puede comenzar a implementar estas estrategias para promover la eficiencia energética: utilizar menos energía para completar la misma cantidad de trabajo. Obtener la mayor cantidad de trabajo por cada unidad de energía se describe a menudo como una medida de intensidad energética. Las métricas comunes para edificios y vecindarios incluyen el uso de energía por pie/metro cuadrado y el uso per cápita. El gráfico N°2 describe el uso de energía típico de un edificio de oficinas. Cada categoría ofrece una oportunidad de aumentar la eficiencia y los ahorros.

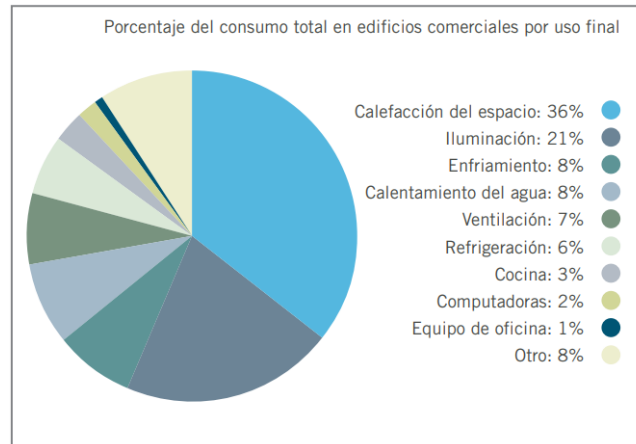


Gráfico 2: Distribución del uso de energía en un edificio

A través del proceso integrado, los equipos de proyectos de edificios ecológicos pueden identificar las oportunidades de emplear estrategias sinérgicas. Por ejemplo, al mejorar la envolvente del edificio, que es el espacio entre los ambientes interiores y exteriores de un edificio que incluye por lo general las ventanas, las paredes y el techo, los equipos pueden reducir el tamaño de los sistemas HVAC o incluso eliminarlos en su conjunto. Este tipo de diseño integrado puede reducir tanto los costos de capital inicial como los costos operativos a largo plazo.

La reducción de la demanda y el aumento de la eficiencia a menudo hacen que cubrir la mayoría o todas las necesidades energéticas del edificio con recursos renovables resulte rentable. Por lo general, se considera que la llamada energía ecológica incluye la energía solar, eólica, propulsada por olas, de biomasa y geotérmica, además de determinadas formas de energía hidroeléctrica. El uso de estas fuentes de energía evita el sinnúmero de impactos ambientales asociados con la producción y el consumo de combustibles no renovables, como el carbón, la energía nuclear, el petróleo y el gas natural.

LEED hace una distinción entre la producción de energía renovable en el sitio y la compra de energía ecológica fuera del sitio. La producción de energía en el lugar implica generalmente un sistema

que genera electricidad limpia, como los paneles solares fotovoltaicos que convierten la energía solar en electricidad.

2.1.5.6. Sitio Sustentable

La ubicación de un edificio es tan importante como la manera en que este se construye. Su conexión con la biorregión local, la cuenca fluvial y la comunidad ayudarán a determinar la manera en que un proyecto puede contribuir con un entorno sustentable. Un proyecto sustentable cumple otras funciones además de la función inmediata del edificio. También debe satisfacer las necesidades de la comunidad local, fomentar una vida urbana activa, promover estilos de vida saludables, proporcionar servicios para el ecosistema y crear sentido respecto del lugar. La selección del sitio y el diseño juegan roles importantes tanto para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero como para ayudar a los proyectos a adaptarse a los efectos del cambio climático. Si las personas pueden usar el transporte público, montar en bicicleta o caminar hasta el edificio, el proyecto ayuda a reducir las emisiones de carbono asociadas con los viajes diarios al trabajo. Un proyecto que está conectado a la comunidad por vías para peatones y sendas para bicicletas alienta a las personas a caminar o usar la bicicleta en lugar de conducir un automóvil, y así no solo ayudan a reducir la contaminación del aire, sino que también promueven la actividad física.

En casos ideales, los proyectos de diseño sustentable comienzan en una de dos maneras: o bien se empieza con un sitio y considera las mejores funciones y usos para esa ubicación en particular, o se empieza con una función y determina la mejor ubicación para ese uso de la tierra. En cualquiera de los casos, al comprender las necesidades y los objetivos del proyecto, así como las oportunidades y las limitaciones de una ubicación en particular, se será capaz de encontrar un conjunto de soluciones óptimo.

Las mejores ubicaciones son aquellas que promueven un crecimiento inteligente, un enfoque que protege el espacio abierto y las tierras de cultivo haciendo hincapié en el desarrollo con opciones de viviendas y transporte cerca de los trabajos, las tiendas y las escuelas.

La disposición y planificación de la comunidad afectan el comportamiento de los ocupantes y los residentes mientras que establecen un estándar para lo que estas ubicaciones valoran. Por ejemplo, en los lugares donde las calles sin salida se conectan con calles de conexión cada vez más anchas, los servicios se agrupan en galerías comerciales y los trabajos se centran en complejos de oficinas, se hace hincapié en la esfera privada y el automóvil. Por otro lado, en comunidades con trazas urbanas conectadas, usos de la tierra diversos y edificios orientados hacia aceras amplias, se hace hincapié en los peatones y la esfera pública. El patrón del vecindario y las estrategias de diseño son aquellos que ayudan a que un proyecto sea fácil de explorar, accesible y atractivo para los peatones. Se hace hincapié en la diversidad de los usos de la tierra, el diseño de las calles y las funciones de la comunidad. Los residentes satisfacen sus necesidades dentro de los vecindarios, incluidos los viajes al trabajo o a la escuela, la búsqueda de lugares de encuentro o juego, y la comida saludable.

2.1.5.7. Calidad ambiental interior

La calidad ambiental interior (Indoor Environmental Quality, IEQ) abarca las condiciones en el interior del edificio (calidad del aire, iluminación, condiciones térmicas, ergonomía) y los efectos que producen en los ocupantes o residentes. Las estrategias para abordar la IEQ incluyen aquellas que protegen la salud humana, mejoran la calidad de vida y reducen el estrés y las posibles lesiones. Una mejor calidad ambiental interior puede mejorar las vidas de los ocupantes del edificio, aumentar el valor de reventa del edificio y reducir la responsabilidad de los propietarios del edificio. Además, debido a que los costos de salarios y beneficios para el personal por lo general sobrepasan los costos operativos de un edificio de oficinas, las estrategias que mejoran la salud y productividad de los empleados a largo plazo

pueden tener un amplio retorno de la inversión. Los objetivos de IEQ a menudo se centran en proporcionar estimulación y ambientes confortables para los ocupantes, además de minimizar el riesgo de sufrir problemas de salud relacionados con el edificio.

Para lograr que sus edificios sean lugares donde las personas se sientan bien y desempeñen bien sus funciones, los equipos de proyectos deben equilibrar la elección de estrategias que promuevan la eficiencia y la conservación con aquellas que tratan las necesidades de los ocupantes y fomentan el bienestar. Idealmente, las estrategias elegidas logran ambas cosas: las soluciones que conservan la energía, el agua y los materiales también contribuyen a lograr una buena experiencia interior.

La calidad del aire exterior ha recibido atención considerable en las décadas recientes, y las estrategias para reducir la bruma industrial y otras sustancias contaminantes en el aire son de vital importancia. Sin embargo, el aire que respiramos en el interior (donde millones de personas pasan gran parte del día) puede estar incluso más contaminado. Muchas fuentes comunes generan contaminantes en el aire interior:

- Personas que fuman tabaco dentro o cerca de las entradas o tomas de aire de un edificio
- Materiales en el edificio, como pinturas, revestimientos, adhesivos, selladores y muebles que pueden emitir compuestos orgánicos volátiles (volatile organic compounds, VOC), sustancias que se vaporizan a temperatura ambiente y pueden provocar problemas de salud
- Procesos de combustión en equipos HVAC, chimeneas y estufas y de vehículos en estacionamientos o cerca de las entradas
- Moho provocado por la humedad de los materiales del edificio
- Materiales de limpieza
- Emisión de gases residuales de radón o metano proveniente del suelo debajo del edificio

- Sustancias contaminantes de procesos específicos utilizados en laboratorios, hospitales y fábricas
- Sustancias contaminantes que se llevan en los zapatos de los ocupantes
- Respiración de los ocupantes, que aumenta los niveles de dióxido de carbono y puede presentar gérmenes

La mejor manera de evitar las sustancias contaminantes interiores es eliminarlas o controlarlas a nivel de la fuente de emisión. La siguiente línea de defensa es una ventilación adecuada para eliminar cualquier sustancia contaminante que pudiera ingresar. Ambos enfoques se deben tener en cuenta en todas las fases del ciclo de vida del edificio.

2.1.5.8. Innovación

A través de la categoría Innovación, LEED promueve y reconoce las iniciativas de equipos de proyectos para crear beneficios ambientales adicionales más allá de aquellos logrados a través de otras categorías de sistemas de clasificación. Las estrategias innovadoras amplían la práctica de edificios ecológicos al incorporar técnicas de vanguardia, procesos y productos al desarrollo de un proyecto. Los procesos integrados y repetitivos que se requieren para lograr los beneficios ambientales que aborda LEED promueven nuevos métodos y estándares, a la vez que se potencia la práctica de los edificios ecológicos.

Los proyectos que incorporan estas estrategias y alcanzan niveles ejemplares de desempeño reciben créditos por innovación. Las tres prácticas básicas que pueden llevar a que los proyectos obtengan créditos por innovación para una categoría que LEED no aborda específicamente son las siguientes:

- El proyecto debe demostrar mejoras de desempeño cuantitativas para el beneficio ambiental mediante el establecimiento de una base de desempeño estándar y la comparación de esa base con el diseño final que incluye las estrategias innovadoras.
- El proceso o la especificación deben ser integrales. En otras palabras, un equipo que está pensando en solicitar un crédito por Innovación debe demostrar que el programa se aplica a todo el proyecto certificado según LEED y no que solo se trata de una parte limitada del proyecto.
- El concepto debe poder repetirse y aplicarse en otro proyecto. Debe ser significativamente mejor que los principios y las prácticas de diseño sustentable estándar.

Las estrategias y prácticas reconocidas actualmente como innovadoras pueden convertirse en créditos de sistemas de clasificación futuros. De hecho, a medida que LEED continúa evolucionando y la innovación de hoy se convierte en el estándar del mañana, las estrategias que pudieron haber ganado el crédito Innovación en el pasado no necesariamente obtendrán reconocimiento en la actualidad.

2.1.5.9. Prioridades regionales

Reconoce a los proyectos que atienden de manera especial la problemática ambiental de la zona en donde se encuentran. La finalidad de esta categoría es premiar al uso y distribución de materia prima regional. De esta forma, se reduce el impacto de carbono ocasionado por el transporte de materiales que son fabricados a larga distancia.

2.1.6. LEED en Chile

Chile ocupa el 20° lugar con más proyectos certificados y el 18° lugar en proyectos registrados. “En Chile son las nuevas construcciones, edificios institucionales, edificios de oficinas, los que principalmente se están certificando” (USGBC, 2022).



Gráfico 3: Proyectos LEED registrados en el mundo (USGBC, 2022).



Gráfico 4: Proyectos LEED certificados en el mundo (USGBC, 2022).

** De los gráficos se quitan las cantidades de Estados Unidos, dado a que estas ascienden a 133.236 y 78.504 proyectos respectivamente y se consideran datos aberrantes.



Gráfico 5: Proyectos LEED en Chile (USGBC, 2022).

A julio del 2022, en Chile hay registrados 533 proyectos, de los cuales un 46% ha sido certificado. Estos proyectos se dividen en Certified, Silver, Gold y Platinum. En conjunto alcanzan un total de 3.62 millones de metros cuadrados de edificación certificada (USGBC, 2022).



Gráfico 6: Proyectos LEED certificados en Chile (USGBC, 2022).

Desde el 2008 se dió un crecimiento sostenido en el número de proyectos registrados hasta el 2016, año en el que se dio un salto a nivel de los registros, principalmente asociado al cambio de la certificación de versión de 2009.2 a versión 4, también que el índice de referencia energético aumentó en abril de 2016 y por el anuncio del aumento de tarifas que tendría el sistema.



Gráfico 7: Proyectos inscritos en Chile (USGBC, 2022).

Por otro lado, para Alejandro García, director del Centro Inmobiliario de la UAI, “el tema residencial no logra tener la misma fuerza que el comercial”. Esto lo atribuye a que la mayoría de las constructoras no tienen dentro de su estándar y misión el construir con sustentabilidad, sumado a que algunos usuarios desconocen y otros no creen en este concepto; por lo tanto, “no lo compran y no lo exigen”.



Gráfico 8: Proyectos LEED en Latinoamérica (CCCS, 2021).

A nivel latinoamericano, Brasil y México cuentan con más de 1300 proyectos registrados en la actualidad. Lo siguen Colombia y Chile con más de 450 registros y Argentina, Perú, Costa Rica, y Panamá con más de 100 proyectos cada uno (CCCS, 2021).

2.2. Certificación CES.

2.2.1. Antecedentes

La Certificación Edificio Sustentable (CES) es un sistema nacional, que permite evaluar, calificar y certificar el grado de sustentabilidad de edificios de uso público en Chile, entendiendo ésta como la capacidad de un edificio de lograr niveles adecuados de calidad ambiental interior, con un uso eficiente de recursos y baja generación de residuos y emisiones.

El sistema fue desarrollado por el Instituto de la Construcción con el apoyo y la participación formal de 13 instituciones públicas y privadas, reunidos con el objetivo de incentivar el diseño y la construcción de edificios con criterios de sustentabilidad, y estimular al mercado para que valore este tipo de edificación.

Se basa en el cumplimiento de un conjunto de variables, desagregadas en requerimientos obligatorios y voluntarios que entregan puntaje. Para que un proyecto se certifique se debe cumplir con los requerimientos obligatorios y tener como mínimo 30 puntos. El máximo puntaje es 100.

CES cuenta con el apoyo del Ministerio de Obras Públicas, la Cámara Chilena de la Construcción, el Colegio de Arquitectos de Chile y el Instituto de la Construcción, que actúa como entidad administradora.



Ilustración 4: Proceso de certificación CES

El proceso de certificación consta de dos etapas, la Precertificación y la Certificación propiamente tal, agregándose las acciones correspondientes al Sello “Plus Operación” en la eventualidad de que éste se solicite adicionalmente. Tenemos que, las etapas son:

- Pre-certificado “Edificio Sustentable”: Se evalúa la arquitectura e instalaciones del edificio.
- Certificado y Sello “Edificio Sustentable”: Se evalúa la arquitectura, instalaciones y construcción del edificio.
- Sello “Plus Operación”: Se evalúa la gestión durante la operación del edificio.



Ilustración 5: Etapas de certificación CES

La Pre-Certificación se establece principalmente como una instancia de evaluación de la etapa de diseño que permite introducir mejoras a su arquitectura e instalaciones, incluido posibles modificaciones durante la etapa de construcción, y en forma adicional permite al cliente realizar declaraciones validadas por una tercera parte respecto a las características ambientales y de eficiencia energética de su edificio, en forma previa o durante su construcción.

La Certificación se obtiene una vez que se ha efectuado la recepción municipal, de manera de efectuarse sobre el edificio construido definitivamente y en condiciones de ser ocupado.

El Sello “Plus Operación” es una certificación adicional y opcional, que tiene por objetivo promover la mantención en el tiempo de las condiciones de calidad ambiental y eficiencia energética con las cuales fue certificado el edificio, como también promover y facilitar el mejoramiento continuo de la gestión de dichas condiciones.

2.2.2. Objetivos

El sistema de certificación puede ser aplicado a edificios de uso público, es decir, aquellos que se definen como construcciones destinadas a complementar las funciones básicas de habitar, producir y circular, cualquiera sea su clase o escala, y sin diferenciar propiedad y/o administración pública o privada. Este sistema puede ser aplicado a edificios de uso público con cualquier carga ocupacional, siendo condición mínima que posea al menos un recinto regularmente ocupado. Sin perjuicio de lo anterior, su aplicación se acota a los edificios de uso público con los siguientes destinos o clases de equipamiento, tanto nuevos como existentes, sin diferenciar administración o propiedad pública o privada:

- Destino Educación
- Destino Salud, excluyendo hospitales, clínicas, cementerios y crematorios
- Destino Servicios, incluyendo oficinas habilitadas y de tipo “planta libre”
- Destino Seguridad, excluyendo cárceles y centros de detención
- Destino Social

Asimismo, cabe señalar que si bien esta certificación está orientada a edificios con superficies construidas de hasta 5.000m², puede ser aplicada a edificios de mayor tamaño, sin restricción

2.2.3. Actores Certificación CES

- Organismo certificador: El Instituto de la Construcción es el encargado de administrar el sistema, sus principales responsabilidades son emitir el certificado, supervigilar y fiscalizar el proceso.
- Organismo revisor: Está compuesto por Empresas (personas jurídicas) que cumplen los requisitos indicados por la CES, entre ellos: años de experiencia, cantidad de profesionales

certificados y sistemas de gestión implementados. Su principal responsabilidad es evaluar y verificar el cumplimiento de los requisitos del sistema para la obtención de la certificación.

- Consultor: Profesionales o empresas acreditadas para “asesorar” al mandante en el desarrollo del proyecto a fin de que cumpla los requisitos para certificarse CES. Se considera especialistas en Eficiencia Energética que han rendido una prueba y cuentan con un certificado que los acredita como tales.

2.2.4. Niveles de Certificación CES

Para precertificarse o certificarse, se debe cumplir con todos los requerimientos obligatorios (15) y obtener un mínimo de 30 puntos en base a requerimientos voluntarios (33). El puntaje máximo es 100, existiendo tres rangos de certificación:

- Certificación Sobresaliente: para edificios que obtienen 70 o más puntos.
- Certificación destacada: para edificios que consiguen en la franja de 55 y 69,5 puntos.
- Certificado: para edificios que obtienen entre 30 y 54,5 puntos.



Ilustración 6: Niveles de certificación CES

2.2.5. Atributos de sustentabilidad evaluados

Para este sistema de certificación se ha puesto énfasis en que la estructura u orden de las variables e indicadores asociados no respondan solamente a una separación por temáticas o categorías,

sino que consideren también la dinámica que existe entre los distintos aspectos de un edificio y que influyen en su comportamiento ambiental.

Los edificios son considerados infraestructuras que deben entregar las condiciones adecuadas para que sus usuarios realicen diversas actividades en su interior; en este caso a dichas condiciones se las engloba con el concepto de Calidad del Ambiente Interior (CAI). En la CAI influyen la arquitectura y construcción del edificio (sistemas pasivos), para luego ser complementado por las instalaciones (sistemas activos). También influyen en la CAI aspectos asociados al tipo de uso y operación del edificio. El grado de influencia de cada factor dependerá de cada edificio.

En su operación, los edificios consumen recursos, en este caso agua y energía, asociados principalmente al funcionamiento de los sistemas activos. A su vez, se obtienen como resultado de este proceso, externalidades en forma de residuos y emisiones de gases. Este sistema puede a su vez simplificarse en una cadena de causa y efecto de variables. Al considerar esta dinámica de relaciones se establece la estructura general de variables y se reconoce la importancia relativa de cada una, lo que, a su vez, evita considerar variables que aborden el mismo objetivo desde la causa y el efecto, por separado.

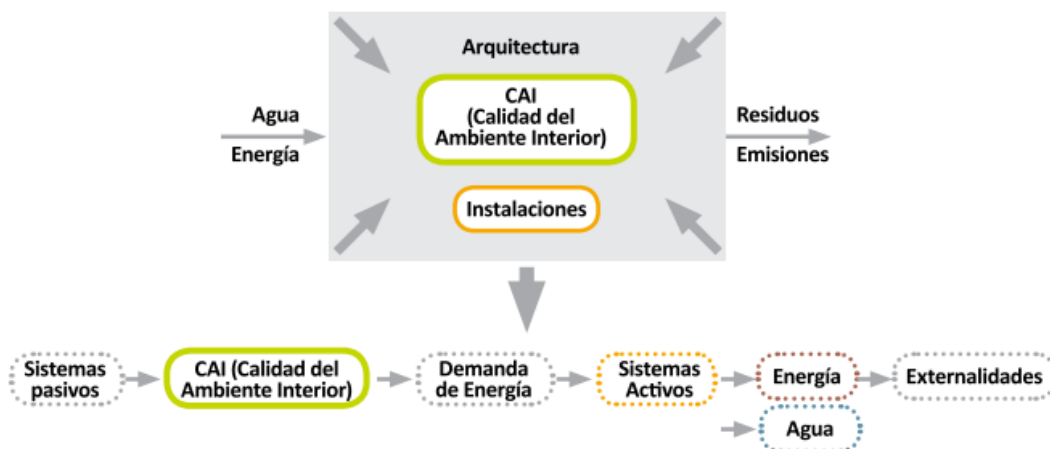


Ilustración 7: Esquema de la Calidad del Ambiente Interior

Para CES, el ámbito general del comportamiento ambiental de un edificio se ha centrado en cinco aspectos temáticos:

- Calidad del Ambiente Interior
- Energía
- Agua
- Residuos
- Gestión

Estas temáticas se han agrupado en cuatro categorías:

- Diseño Arquitectónico Pasivo (Arquitectura)
- Diseño de Sistemas Activos (Instalaciones)
- Construcción
- Operación

2.2.5.1. Gestión

Se busca promover un proceso de “diseño integrado” en la etapa de anteproyecto de arquitectura y especialidades, mediante la coordinación temprana de las diferentes especialidades que contempla, o que debiesen contemplarse, tales como arquitectura, acondicionamiento ambiental (acondicionamiento térmico, iluminación, ventilación, acústica, etc.), instalaciones, etc., que deberán ser lideradas, coordinadas y suscritas por el Arquitecto responsable del proyecto u otro profesional designado por el mandante.

Esto con el propósito de optimizar los diseños y especificaciones de cada especialidad producto de la interrelación, de prever y contemplar tempranamente las necesidades de cada especialidad, el impacto de una sobre la otra y evitar realizar correcciones tardías en obra, producto de las

descoordinación o desconocimiento de los proyectos, que pudiesen haberse resuelto tempranamente, y que en algunos casos definitivamente no se pueden resolver. Para lograr los objetivos de coordinación temprana idealmente en la etapa de Anteproyecto y en cualquier caso en la etapa de Proyecto, los profesionales, técnicos y responsables del diseño de las diferentes especialidades que concurran en el Proyecto deberán sostener instancias de coordinación presenciales y/o virtuales, dirigidas, realizadas y/o coordinadas por el Arquitecto responsable del proyecto o quien designe el mandante. Este sello podrá obtenerse en conjunto con la Pre-Certificación o la Certificación del edificio.

2.2.5.2. Residuos

Durante la construcción del edificio se realizan acciones de control y mitigación destinadas a tener un manejo adecuado de los residuos y emisiones contaminantes. Se exige el cumplimiento del artículo 5.8.3 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción. Se promueve la minimización de impactos producidos por la construcción hacia la atmósfera, el suelo y los ecosistemas, además de la gestión de residuos durante la construcción y operación del edificio.

Requisitos obligatorios:

- Manejo de Residuos: Medidas de control y mitigación durante la construcción.

Requisitos voluntarios:

- Equipamiento para el manejo de residuos durante la operación del edificio.
- Manejo de residuos.

El manejo de residuos se refiere a la separación, control y reciclaje de estos.

Separación de residuos:

- Tóxicos y peligrosos. Se deben depositar en contenedores adecuados a este fin y en lo posible en una bodega o gabinete separado y ventilado, adecuado a su finalidad.

- Domiciliarios. Residuos orgánicos provenientes de los comedores y casinos cuando los hay, y residuos de ropa e implementos de seguridad: bototos, cascos, guantes, etc. Se deben disponer en tambores o pequeños contenedores fáciles de remover, localizados en puntos estratégicos de la obra con el letrero: “basura” 56.
- Inertes. Generados en las actividades de limpieza de terreno y levantamiento de la obra. Estos deben ser depositados limpios y sin contaminantes químicos, en contenedores adecuados a esta finalidad⁵⁷, los que deben ser proporcionados por la empresa con que se hace el correspondiente contrato.⁵⁸

Control de residuos: Tanto los residuos inertes como los tóxicos y peligrosos deben ser controlados a través de sus correspondientes guías, solicitando a la empresa que los maneja que entregue certificados mensuales de su disposición final en lugar autorizado.

Reciclaje de residuos: La empresa que realiza el manejo de residuos o escombros deberá certificar la recuperación de materiales para reciclaje o reutilización. El material reciclado deberá representar al menos un 50%, en volumen, del total de residuos y/o escombros retirados. Podrán incluirse materiales granulares sobrantes, si son empleados como material de relleno o estabilizado para la recuperación de suelos, tanto en el terreno del proyecto como en otros terrenos. En dicho caso, sólo será computable en el porcentaje de material reciclado hasta un 30% de material granular cuando se emplea en el terreno del proyecto, y un 20% cuando se emplea en otros terrenos

2.2.5.3. *Agua*

Promueve el consumo eficiente y reutilización del agua, con énfasis en la realidad hídrica de la zona del país.

Requisitos obligatorios:

- Paisajismo: Reducir en un 20% la evapotranspiración de proyecto de paisajismo.
- Sistema de Agua Potable: Reducir en un 20% el consumo de agua potable
- Riego: Reducir en un 20% el consumo de agua para riego.

Requisitos voluntarios:

- Paisajismo: Disminución de la demanda de agua.
- Agua incorporada en los materiales estructurales del edificio.
- Instalaciones de agua potable: Sistemas eficientes.
- Instalación de agua potable: Dureza del agua.
- Instalación de riego: sistemas eficientes.

2.2.5.4. *Energía*

El requerimiento más sensible al uso de una evaluación u otra es probablemente el de Demanda de Energía y Consumo de Energía. Lo anterior dado que en su resultado influyen una serie de aspectos que interactúan dinámicamente, tales como envolvente térmica, factor solar modificado, ventilación natural y mecánica, iluminación natural y artificial, sistema de climatización, sistemas de control, entre otros.

Para efectos de este sistema, se ha separado la evaluación de la Demanda de Energía de la evaluación del Consumo de Energía, con el objetivo de incentivar las “estrategias pasivas” del diseño arquitectónico por sobre las “estrategias activas” de las instalaciones. De lo anterior no se debe entender en ningún caso que las estrategias activas no son necesarias; al contrario, son fundamentales para el correcto funcionamiento del edificio y la adecuada entrega de sus prestaciones, por ejemplo, de calidad del ambiente interior.

Los requerimientos de Demanda de Energía consideran la evaluación de las características de la envolvente del edificio, mientras que, los requerimientos de Consumo de Energía consideran la evaluación de los consumos de energía en iluminación artificial interior y exterior, calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria, y otros consumos (computadores y otros artefactos, sistemas de transporte, bombas, y en general todos los consumos finales del edificio). Asimismo, considera la reducción del consumo de energía mediante el aporte de Energía Renovables no Convencionales y sistemas de cogeneración. En general, la estructura de variables asociadas a Consumo de Energía está pensada para abordar los principales consumos finales en forma prescriptiva, mediante indicadores como potencia instalada y rendimientos nominales.

Requerimientos obligatorios:

- Demanda de energía: Transmitancia térmica de la envolvente y Factor Solar modificado.
- Hermeticidad de la envolvente: Sellos exteriores para carpintería y paso de instalaciones.
- Climatización y ACS: Aislación térmica en distribución de calor y frío.

Requerimientos voluntarios:

- Demanda de energía.
- Hermeticidad de la envolvente.
- Energía incorporada en los materiales estructurales del edificio.
- Consumo de energía.
- Iluminación artificial: Potencia instalada.
- Iluminación artificial: Sistemas de control.
- Climatización y ACS: Relación de la Potencia Requerida e Instalada.
- Climatización y ACS: Rendimiento nominal.

- Otros consumos de energía.
- Energía renovable no convencional.

2.2.5.5. *Calidad ambiental interior*

La calidad ambiental considera las condiciones en el interior del edificio en conjunto con los efectos que producen en los ocupantes o residentes del edificio. Aquí se establecen requerimientos obligatorios como voluntarios, desentendiéndose de la injerencia que CES considere óptima.

Requerimientos obligatorios:

- Confort Visual Pasivo: Factor Luz Día o Iluminancia útil mínimos.
- Calidad del Aire Pasivo: Superficie mínima de ventana o caudal mínimo de aire.
- Confort Acústico: Aislación acústica mínima de fachadas exteriores.
- Calidad del Aire Activo: Tasas mínimas de ventilación, eficiencia mínima de filtraje, no utilizar sistemas de calefacción de combustión en base a llama abierta.
- Confort Visual Activo: Condiciones de diseño mínimas.
- Confort Térmico Activo: Definir condiciones de diseño de climatización

Requerimientos voluntarios:

- Confort Térmico Pasivo.
- Aporte de Luz Natural.
- Acceso visual al Exterior.
- Cobertura de las tasas de renovación por ventilación natural.
- Concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COV).
- Confort acústico: Aislamiento acústico.
- Confort acústico: Acondicionamiento acústico.

- Ventilación Mecánica: Caudal.
- Ventilación Mecánica: Filtraje.
- Monitoreo de la calidad del aire.
- Control del ruido aéreo y estructural proveniente de equipos.
- Confort Visual Activo: Condiciones de diseño mínimas.
- Confort Térmico Activo: Controlabilidad.

2.2.6. CES en Chile

La Certificación de Edificio Sustentable se encuentra en funcionamiento desde fines del año 2014 con la evaluación y certificación de los primeros proyectos piloto. A partir de ese año ha logrado un crecimiento sostenido llegando a contar con un total de 575 proyectos.



Ilustración 8: Cantidades de Proyectos bajo certificación CES

Actualmente el Ministerio de Obras Públicas a partir de su División de Arquitectura incorpora en la mayoría de sus proyectos la solicitud de Precertificación o Certificación CES desde la licitación de la etapa de diseño, lo que, sumado a los esfuerzos del Instituto de la Construcción y la Cámara Chilena de la Construcción esperan lograr un aumento en los edificios certificados y por certificar.



Gráfico 9: Proyectos CES en Chile

A julio del 2022, en Chile hay registrados 575 proyectos, de los cuales un 51% aún están en proceso. Es importante indicar que el proceso de Certificación de un edificio puede durar años si esta comienza junto con el proceso completo de Diseño de este, es por esto, la gran cantidad de proyectos que aún están en dicha fase (USGBC, 2022).

3. Metodología para el desarrollo de la memoria

Ya conocidos los atributos de sustentabilidad que evalúa la certificación LEED, y la actual realidad de Chile, se seleccionará aquellas categorías que más puntaje entreguen en la calificación final y que más influencia tenga en el desarrollo de edificios sustentables del país.

Para dichos atributos de calificación, se analizará el impacto social, medioambiental y económico, en conjunto con prácticas para desarrollarlos de la manera adecuada.

Se usará una metodología de investigación tanto cuantitativa como cualitativa, a fin de trabajar con modelos teóricos basados en resultados estadísticos, los cuales serán utilizados y relacionados entre sí para determinar si la teórica sobre los beneficios de la construcción verde aplica o no. Estos resultados estadísticos serán obtenidos de estudios realizados previamente y que analizaremos a continuación, los cuales entregarán de manera cuantitativa diferentes datos del tema en cuestión, para posteriormente llegar a un resultado y analizar la conveniencia.

Se comienza con la revisión de la literatura y planificación detallada a partir de memorias, artículos, libros y manuales con referencias al tema medioambiental, construcción, certificación, economía, social, etc. Luego de recopilar teorías y datos cuantitativos, se genera un orden de la información en base a los diferentes atributos de las certificaciones, detallando lo antes mencionado en la introducción de cada uno de estos atributos.

Ya con la información extraída, ordenada y seleccionada, se construye un modelo teórico, exponiendo los beneficios y pérdidas -en caso de que existieran-, de cada uno de los atributos, con el fin de entregar una valorización de éstos.

Se generarán conclusiones del por qué las empresas constructoras en Chile deberían o no deberían comenzar con el modelo de construcción sustentable, guiado por cada uno de los puntos que exponen la certificación en sus atributos calificables, y cuáles de estos atributos aportan más.

4. Análisis de resultados

De acuerdo con lo observado en los puntos anteriores existen 9 variables en lo que respecta a LEED, mientras que, para CES, los atributos de sustentabilidad evaluados son 5, sin embargo, nos

centraremos en solo algunas de ellas, que corresponden a los temas que más puntajes entregan y que razonablemente coinciden entre las dos certificaciones estudiadas.

Para los efectos de este informe se analizarán 6 variables, éstas son:

LEED	CES
Proceso Integral	Gestión
Localización y Transporte	N/A
Materiales y Recursos	Residuos
Eficiencia del Agua	Agua
Energía y Atmosfera	Energía
Calidad ambiente interior	

Tabla 2: Variables de atributos

A continuación, se analizará cada uno de ellos en detalle, junto a sus prácticas, pros, contras, variables, costos y beneficios entre otros.

4.1. Proceso Integral – Gestión

La clave para maximizar el retorno de inversión en edificios verdes radica en integrar prácticas ecológicas desde las primeras etapas del proceso, en lugar de abordarlas como una consideración tardía. Un ejemplo ilustrativo es la especificación de ventanas más costosas y de alto desempeño, estas permiten el uso de un sistema más pequeño y económico de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

La gestión efectiva de costos en proyectos sostenibles se apoya en diversas herramientas y técnicas, destacando la comunicación eficaz entre los expertos técnicos. La colaboración temprana entre arquitectos, ingenieros y constructores es esencial, ya que estos profesionales, aunque altamente especializados, a menudo entregan sus conocimientos de manera aislada.

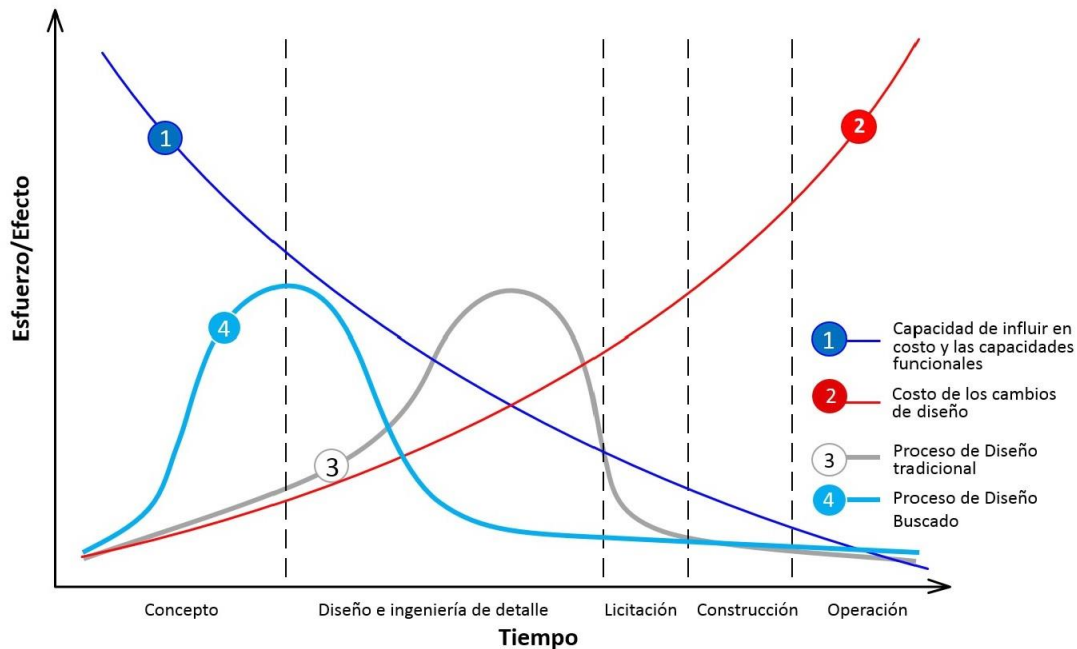


Gráfico 10: Esfuerzo/efecto vs Tiempo de las gestiones en cada etapa de un proyecto.

En el ámbito de la construcción, se enfrenta comúnmente al desafío del "efecto silo", un enfoque reduccionista que se traduce en la falta de información entre distintas partes o grupos. Este fenómeno obstaculiza la gestión de cambios, la mitigación de riesgos y la contención de costos, todo lo cual requiere una visión holística del proyecto para superar estas barreras y lograr el éxito en la construcción sostenible.

En la industria de la construcción, la adopción de enfoques colaborativos se vuelve esencial debido a la detección recurrente de problemas durante el proceso constructivo. Estos inconvenientes suelen ser el resultado de acciones descoordinadas entre las partes involucradas. La creciente complejidad, relacionada con los requisitos de disciplinas integradas y la gestión de la cadena de suministro, agrava esta situación día a día.

El trabajo colaborativo emerge como una respuesta crítica a estas complejidades. Aplicado al diseño y construcción de proyectos, este enfoque demanda la congregación de profesionales de diversas

disciplinas. La sinergia de estos expertos, al trabajar de manera integrada y coordinada, se convierte en un elemento fundamental para abordar los desafíos inherentes a la industria.

Este tipo de colaboración no solo fomenta la eficiencia y la sinergia entre equipos multidisciplinarios, sino que también sirve como un antídoto ante los problemas que surgen por la falta de coordinación. En un entorno donde la interconexión entre disciplinas y la gestión de la cadena de suministro son cruciales, el trabajo colaborativo se posiciona como un pilar estratégico para el éxito de los proyectos de construcción (Luiz De Brito Mello, 2021).

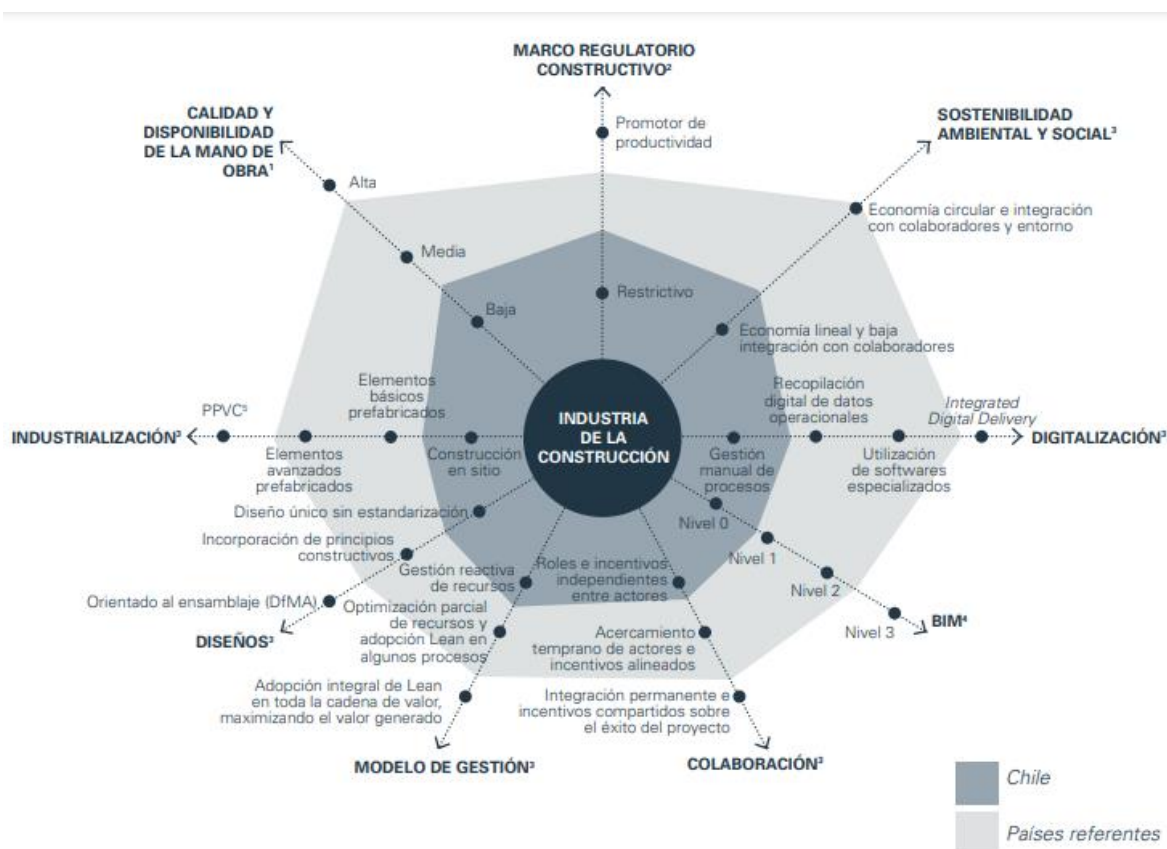


Ilustración 9: Esquema de comparación Industria de la Construcción de Chile y Países referentes (CChC, 2020).

La eficiencia en la construcción se juega desde el principio, donde decisiones tempranas tienen un impacto duradero. Para abordar este desafío, es crucial incorporar la productividad desde la

concepción de la obra, reconociendo que malas definiciones iniciales pueden restar valor en etapas posteriores.

Singapur ha destacado adoptando principios productivos a través del "Code of Practice on Buildability". Este código introduce el "Buildable Design Score" y el "Constructability Score", estandarizando índices que miden la facilidad de ejecución de un diseño. Incentiva la repetición de dimensiones en elementos estructurales, puertas, ventanas, y favorece diseños sin vacíos innecesarios. Premia la inclusión de construcciones prefabricadas, promoviendo eficiencia.

La estandarización se vuelve evidente al analizar la altura de los pisos. La dispersión de 12 alturas diferentes en la muestra nacional impone restricciones a la configuración interna, limitando la estandarización de otros elementos constructivos. Lo mismo ocurre con tamaños diversos de ventanas y puertas en un edificio, evidenciando la necesidad de mayor coherencia en la industria (CChC, 2020).

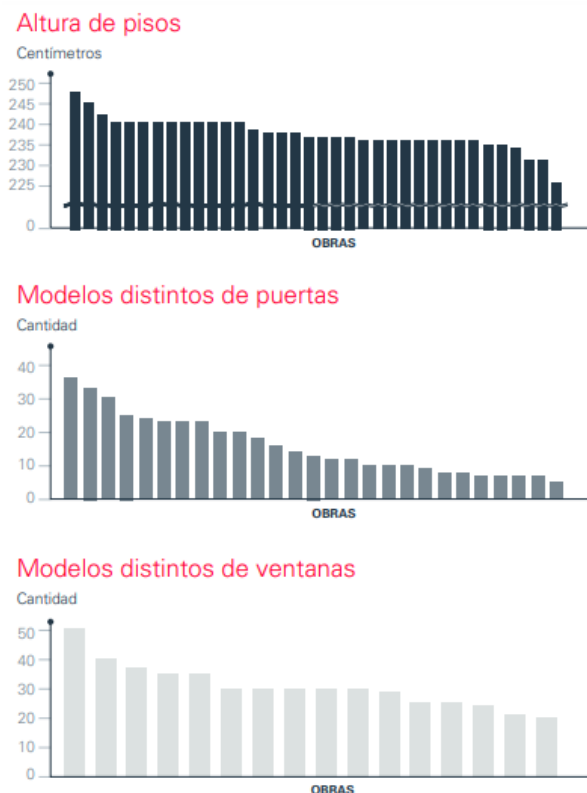


Gráfico 11: Cantidad v/s Obra de distintos para factores a considerar en certificaciones (CChC, 2020).

Se suele señalar la importancia de la integración temprana al diseño como una práctica de optimización. Constructoras que se involucran, reportan que los proyectos fueron más simples de ejecutar. Sin embargo -considerando una submuestra de empresas integradas con inmobiliarias-, sólo el 32% declara haber tenido una alta participación en el diseño.

La planificación es otro elemento que juega un rol central. Más allá de una Carta Gantt inicial, una buena programación acompaña un proyecto de principio a fin; involucra el levantamiento detallado de actividades, coordinación de múltiples actores y capacidad de reaccionar ante cambios o imprevistos durante su transcurso. En Chile, un 71% de las obras de edificación y un 72% de las de infraestructura vial, no se entregan a tiempo. Last Planner, la metodología estándar en la industria para realizar la planificación en obras, es ampliamente conocida pero débilmente implementada. Sólo el 34% de las empresas emplea software especializado y el 40% mide las causas de no cumplimiento. En obras de infraestructura, la principal causa de no cumplimiento es una mala planificación. Estas prácticas suelen no estandarizarse entre las obras de una misma empresa, lo que abre una oportunidad por transferirlas internamente (CChC, 2020).

Un buen diseño y planificación pueden diluirse si no se concretan en una ejecución de calidad. Esto significa alcanzar las especificaciones a la primera, minimizar las observaciones de calidad, y emplear los recursos estrictamente necesarios para llevar una actividad a cabo. Para ello, la coordinación y control diario de los equipos en terreno es fundamental. En edificación, según datos de Calidad Cloud, un 10,2% de las actividades controladas en obra gruesa, y un 21,7% en terminaciones, tienen observaciones en la primera revisión de calidad. Y sólo la mitad y un tercio se reportan como resueltas (Calidad Cloud, 2020). Esta información es aún más relevante cuando se toma en cuenta que los datos señalan que es significativamente más fuerte la correlación entre la productividad final de una obra en la etapa de terminaciones, que con respecto al rendimiento en la fase de obra gruesa. Un hecho

decidor es que en los resultados de obras no se reporta el costo de retrabajos, por lo que este sobrecosto queda “oculto” entre partidas o gastos generales, lo que impide un control. Entendiendo esta situación y la magnitud del problema, constructoras internacionales del benchmark han implementado mecanismos para controlar con mayor detalle la calidad y los retrabajos, tales como la trazabilidad mediante la marcación con códigos QR, y el reporte detallado del costo de retrabajos, estimados en HH y con un consumo estándar de recursos. Así, empresas han logrado llevar este sobrecosto desde un 6% del presupuesto a un 2%, con la meta de un 0%.

4.1.1. BIM

BIM (Building Information Modeling) es un método de trabajo que se define en el contexto de la cultura colaborativa y de la práctica integrada, y supone una profunda transformación que afecta a todos los procesos de diseño, constructivos y de gestión. Por ello puede ser catalogado como la columna vertebral de la digitalización en la industria y una herramienta clave para empujar la colaboración. La capacidad de tomar decisiones en tiempo real, coordinar múltiples especialidades de manera simultánea, minimizar los errores, y reducir los tiempos de iteración, son algunos de los beneficios que ofrece esta metodología.

Estudios con muestras significativas de empresas y obras, muestran su potencial: +13% en productividad laboral, -4% en costos y plazos, y -6% de requerimientos de información en obra (Dodge Data & Analytics, 2015).

Como ya se mencionó, Chile tiene tasas de adopción de BIM de la mitad de los países referentes. Pero además la metodología está subutilizada porque mayoritariamente se enfoca en el diseño (en el 33% de las obras), y no en tareas como, por ejemplo, de planificación (5%), indicando un potencial aún por explorar.

Dentro de las barreras para su uso surge el costo de implementación, señalado como la principal limitación, y la escasez de profesionales capacitados. Además, ocurre un desbalance entre quien captura los beneficios y quien incurre en los costos a lo largo de la cadena de valor. Mientras los costos de adoptar BIM se concentran principalmente en la etapa de diseño, los mayores beneficios se obtienen en la etapa de operación por la eficiencia en el mantenimiento de los activos.

Tendencias como el modelo de renta inmobiliaria residencial, o la incorporación de variables de costos de operación en la infraestructura pública, debieran ayudar a alinear estos incentivos.

Pero el potencial de BIM va más allá de su uso. Como plataforma de colaboración, es un habilitador de otras metodologías y técnicas constructivas, tales como prácticas de Lean Construction, metodologías de planificación como el Integrated Project Delivery, y sistemas constructivos industrializados y de prefabricado.

BIM también es un primer paso hacia un ecosistema de trabajo digital. A nivel global en la última década, las industrias de mayor intensidad digital han crecido su productividad a una tasa 4 veces más alta que el resto, y la construcción es uno de los sectores con menor índice de digitalización, junto con la agricultura (OCDE, 2018).

Tecnologías digitales como sistemas de diseño inteligentes y colaborativos, algoritmos de optimización de diseños, revisión automática de códigos constructivos, monitoreo de avance en obra, o sensores y IoT (Internet of Things), están cambiando completamente la manera de desarrollar proyectos en todas sus etapas.

El índice de madurez digital de Matrix Consulting permite identificar las áreas de mejora para las empresas a nivel local, en las dimensiones de Estrategia, Procesos, Cultura y Organización y Tecnología.

Prácticas como la toma de decisiones basada en datos y herramientas de análisis, y el trabajo colaborativo a través de plataformas, aparecen como las principales brechas a cubrir.

Una forma gráfica de ver este diagnóstico es que en las obras aún predomina el uso de Excel por sobre los softwares especializados. Por ejemplo, el uso de Excel versus software especializado, en tareas de planificación y de gestión de costos, es de un 85% contra un 22%, y de 76% contra un 31% respectivamente.

4.1.2. Problemas en la etapa de diseño

En un estudio de diagnóstico y evaluación del proceso de diseño de tres proyectos en Chile, se identificaron diversas categorías de pérdidas durante este proceso, las cuales incluyen la ignorancia de los requerimientos del cliente, la presencia de burocracia y trabajos basados en el papel, problemas de coordinación interdisciplinaria, falta de disponibilidad de información y la necesidad de retrabajo. Además, los investigadores examinaron la distribución del tiempo en los procesos de diseño, desde el inicio hasta la obtención final de planos y especificaciones. Asimismo, se calcularon los tiempo de espera en estos procesos, refiriéndose a los periodos en los que la actividad se detiene, para cada categoría. Los resultados se muestran en la siguiente tabla (Alarcon, 2002).

Categorías	Duración (%)	Tiempo de Espera (%)
Diseño	50,2	8,3
Verificando Información	8,2	4,0
Recolectando Información	28,1	21,0
Corrigiendo Información	12,2	7,1
Emanando Información	1,4	0,0

Tabla 3: Distribución del tiempo y tiempos de espera en los procesos de diseño.

En esta tabla se puede observar que gran parte del tiempo es utilizado recolectando información (casi un 30% del tiempo), y de este tiempo, la quinta parte (21%) es perdido por esperas en el proceso.

Entre el año 2000 y 2002, el Centro de Excelencia en Gestión de la Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (GEPUC) desarrolló un estudio para establecer un diagnostico global de las perdidas más frecuentes en la industria y analizar el grado de confiabilidad y cumplimiento de los programas de construcción

En la síntesis de este informe, evidenciado en los gráficos N° 12, 13 y 14, se destacaron como las pérdidas más recurrentes la necesidad de rehacer trabajos, las detenciones en la actividad, los retrasos en las tareas y los errores (defectos de obra). Entre las causas más frecuentes de estas pérdidas se identificaron los cambios en el diseño, la recepción tardía de información, una planificación deficiente y la falta de claridad en la información. Es importante señalar que, a pesar de que estos estudios tienen más de 30 años, no se han observado avances sustanciales en la industria a nivel general, lo que sugiere que estos problemas persisten en la actualidad con una incidencia posiblemente similar.

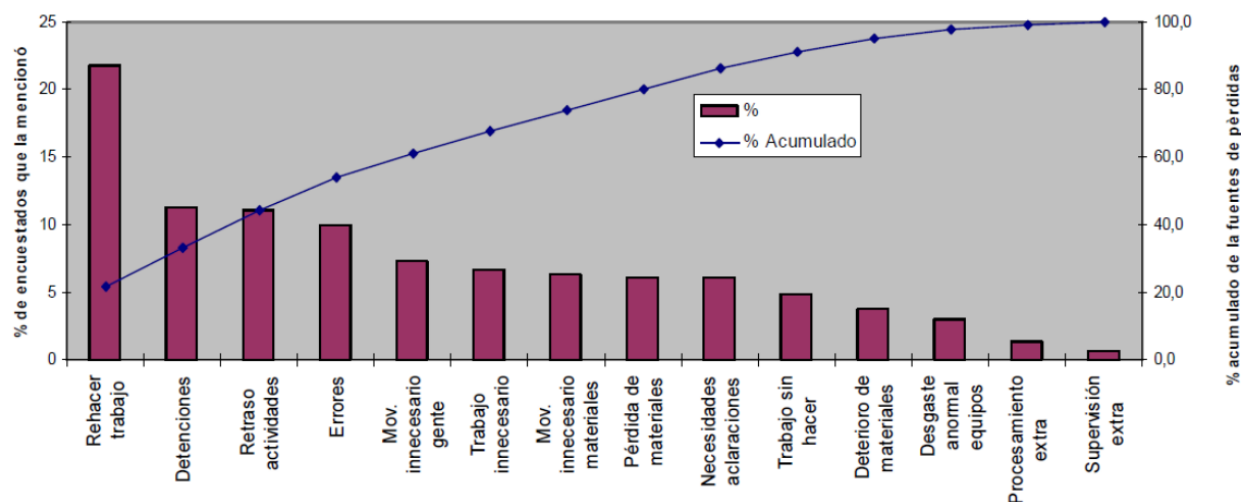


Gráfico 12: Pérdidas más frecuentes

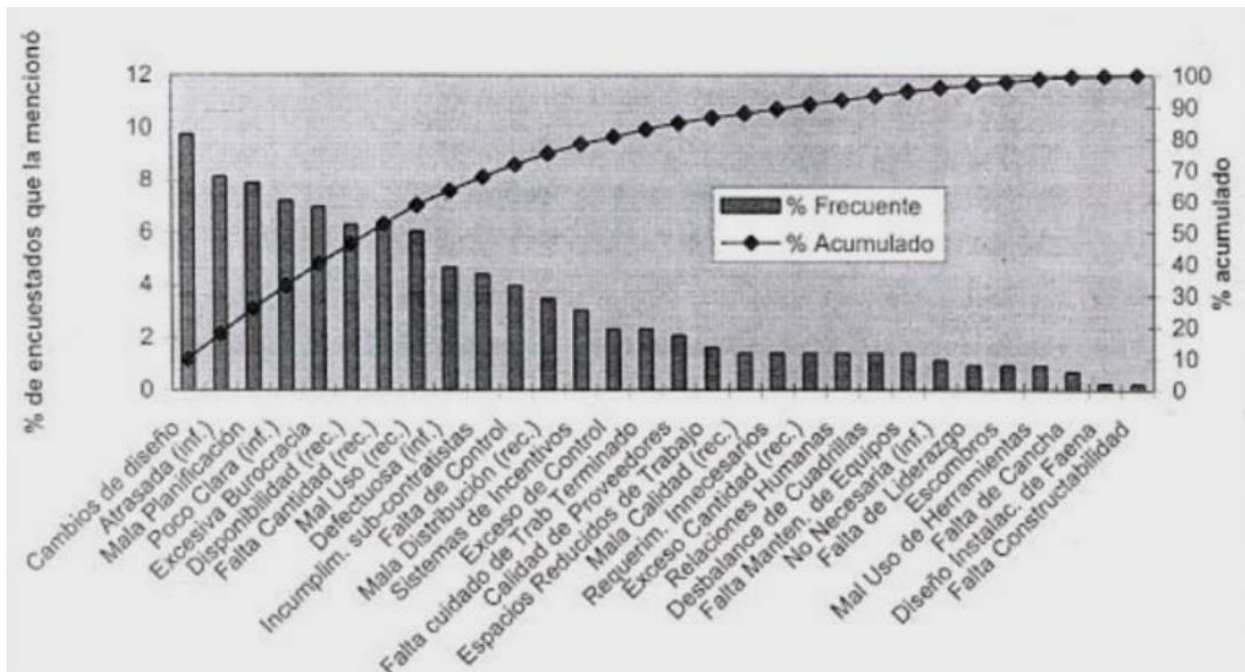


Gráfico 13: Fuentes de pérdidas más frecuentes

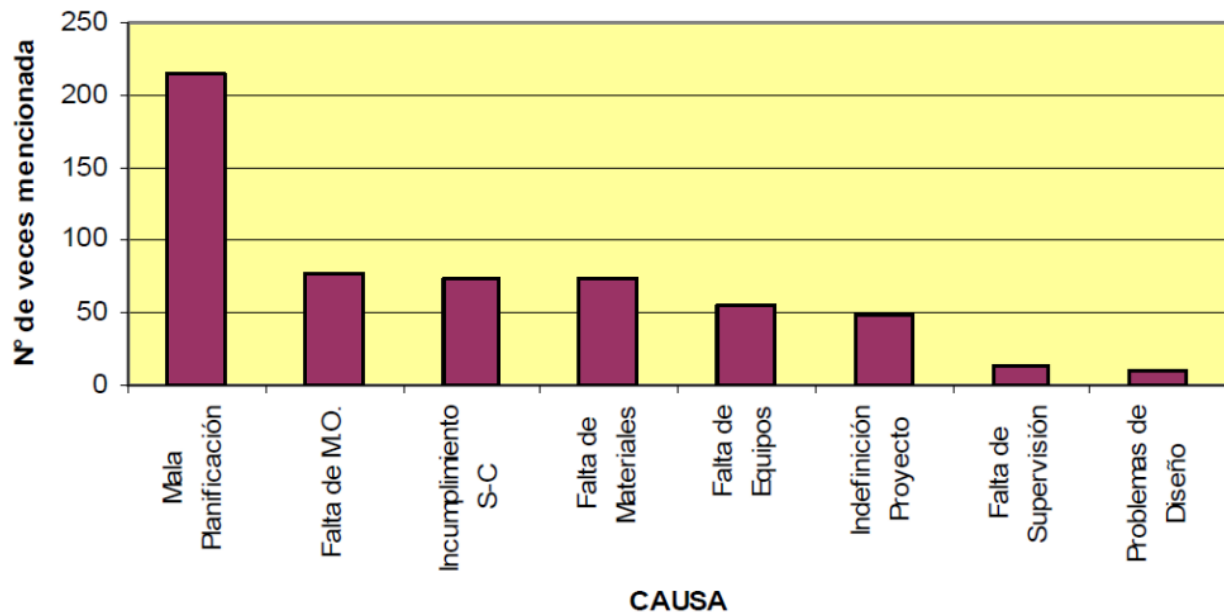


Gráfico 14: Causas de No Cumplimiento

4.1.3. Costos implementación

El cálculo del costo de implementación conlleva una incertidumbre inherente. A pesar de la capacidad para conocer los precios de mercado de los insumos necesarios, así como evaluar diversas ofertas y opciones de negociación, la complejidad radica en el tiempo necesario para adaptarse a la metodología y migrar de un enfoque a otro. Esta transición, con sus matices únicos, dificulta una precisión exacta, afectando la comparabilidad de indicadores de adopción y productividad entre distintas empresas y especialidades. Este desafío, lejos de desalentar, puede influir en la instalación, especialmente cuando los resultados no son inmediatamente evidentes.

Es en este contexto es donde se producen la mayoría de las dificultades para la adopción, la distancia entre la teoría y la práctica y el alto costo suelen ser los argumentos que desmotivan la decisión, por lo que es preciso asumir que también se debe acompañar la medida del beneficio directo, fundamentalmente porque en la industria nacional cualquier cambio sólo se mira como un gasto, lo que conlleva a la necesidad de estimar el costo a fin de desmitificarlo y conocerlo en su verdadera magnitud.

Los costos asociados con la implementación de BIM en proyectos se dividen principalmente en software, hardware, capacitación y mano de obra. En un estudio realizado en enero de 2019, Planbim, en colaboración con la Universidad de Chile y Copeval, examinó detalladamente los costos relacionados con la implementación de metodologías BIM (Planbim, 2019). Este análisis proporciona una comprensión más profunda de los factores financieros involucrados en la adopción de BIM en el ámbito de la construcción y la arquitectura.

Este estudio consta de una gran cantidad de estadísticas, las cuales se respaldan en entrevistas a empresas, tanto nacionales como internacionales. Las empresas fueron ordenadas por especialidades, y así representaron los tipos de servicios profesionales. Para cada uno de ellos se seleccionaron las que entregaron información de costos, clasificándolas según monto de facturación anual y también según

tamaño en función del número de trabajadores, calculándose para cada tramo la inversión promedio declarada en hardware, software y capacitación.

La clasificación según facturación anual presentó cuatro opciones:

- 1: menos de 2.400 UF
- 2: entre 2.401 y 25.000 UF
- 3: entre 25.001 y 100.000 UF
- 4: sobre 100.000 UF

El tamaño de empresa condicionado a la cantidad de trabajadores consideró los siguientes tramos:

- 1: menos de 10 trabajadores
- 2: entre 10 y 20 trabajadores
- 3: entre 20 y 40 trabajadores
- 4: más de 40 trabajadores

Especialidad	Cantidad de empresas	Facturación		Tamaño		Facturación		
		Clasificación de empresas según monto de facturación	Cantidad de empresas por tramo de monto de facturación	Clasificación de empresas según monto de facturación	Cantidad de empresas por tramo de monto de facturación	Hardware	Software	Capacitación
Gerenciamiento de Proyectos	9	1	2	1	2	101	25	0
		2	4	1	2	250	183	115
		4	3	2	2	60	60	170
Servicios de Arquitectura	9	4	3	4	3	600	280	350
		1	3	1	3	20	180	60
Ingeniería Estructural	4	1	6	1	4	204	150	73
		2	2	2	2	300	550	0
		1	1	1	1	100	0	250
Inspección Técnica y Construcción	3	2	1	2	1	0	25	25
		3	2	3	1	1.300	2.300	2.500
		4	1	4	1	500	1.000	600
		1	2	1	2	30	300	305
		2	1	2	1	200	100	50

Los valores se expresaron en UF.

Tabla 4: Información de costos de adopción BIM aportada por consultores y contratistas MOP-MINVU.

La presencia de respuestas en solo cuatro áreas de especialidad coincide con la mayor penetración de la metodología BIM en estos sectores, facilitando su cuantificación. En cuanto a los costos declarados, la falta de referencia a las tres variables consultadas puede atribuirse al desconocimiento o situaciones coyunturales, como el caso del hardware, donde la inversión en software sin cambios en equipos no se asume como un costo. Algunos encuestados mencionaron el uso de licencias educacionales y, en el caso de capacitación, empresas jóvenes pudieron aprovechar formación previa.

Se destaca un caso con valores declarados significativamente mayores, sin razones evidentes. El análisis de datos de 24 empresas en 4 especialidades revela una dispersión significativa en los costos por variable, vinculada al nivel de adopción de la metodología. La clasificación en tramos muestra la presencia de las cuatro especialidades solo en los dos primeros tramos, profundizando el análisis y proporcionando un informe que incluye el promedio de costos por especialidad y el promedio ponderado por variable en función del tamaño de la muestra de cada especialidad.

Costos	Gerenciamiento de Proyectos	Servicios de Arquitectura	Ingeniería Estructural	Inspección Técnica y Construcción	Promedio ponderado
Hardware	101	20	100	30	52,75
Software	25	180	0	300	111,25
Capacitación	0	60	250	305	130,00
Total por especialidad	126	260	350	635	

Los valores se expresaron en UF.

Tabla 5: Costos de adopción BIM aportadas por consultores y contratistas MOP-MINVU con facturación inferior a 2.400 UF anuales.

Costos	Gerenciamiento de Proyectos	Servicios de Arquitectura	Ingeniería Estructural	Inspección Técnica y Construcción	Promedio ponderado
Hardware	155	236	0	30	169,17
Software	170	283	25	100	208,58
Capacitación	143	73	25	50	90,42
Total por especialidad	468	592	50	180	

Los valores se expresaron en UF.

Tabla 6: Costos de adopción BIM aportadas por consultores y contratistas MOP-MINVU con facturación entre 2.401 y 25.000 UF anuales.

El gasto por fuente de costo aumentó en la medida en que se incrementó la facturación, con excepción de la capacitación que presumiblemente obedeció a la experticia que se logró en el tiempo en que las empresas se consolidaron y pudieron acceder a encargos que reportaron mayores beneficios. Respecto del gasto por especialidad aumentó para el gerenciamiento de proyectos y para los servicios de arquitectura, probablemente a consecuencia de un incremento en la demanda por estos servicios y porque en distintas ocasiones se observó que son los que asumen informalmente la coordinación de proyectos absorbiendo la tarea de las especialidades de instalaciones, que no necesariamente cuentan con los recursos como para desarrollarlos individualmente. También se observó que el gasto disminuyó en la especialidad de ingeniería estructural e inspección técnica y construcción, probablemente debido a una mayor eficiencia en la producción.

Costos	Gerenciamiento de Proyectos	Servicios de Arquitectura	Ingeniería Estructural	Inspección Técnica y Construcción	Promedio ponderado
Hardware	0	0	900	0	169,17
Software	0	0	1650	0	208,58
Capacitación	0	0	1550	0	90,42

Los valores se expresaron en UF.

Tabla 7: Costos de adopción BIM aportadas por consultores y contratistas MOP-MINVU con facturación entre 25.001 y 100.000 UF anuales.

Costos	Gerenciamiento de Proyectos	Servicios de Arquitectura	Ingeniería Estructural	Inspección Técnica y Construcción	Promedio ponderado
Hardware	600	0	0	0	0
Software	280	0	0	0	0
Capacitación	350	0	0	0	0

Los valores se expresaron en UF.

Tabla 8: Costos de adopción BIM aportadas por consultores y contratistas MOP-MINVU con facturación mayor a 100.001 UF anuales.

La información recogida en los dos últimos tramos de facturación evidenció escasa información, por lo que sólo se presentaron los registros, debido a que es imposible inferir algún tipo de comentario respecto de la distribución del gasto, sin embargo, comentar que se puede inferir que las empresas que mayoritariamente participan de esta industria tienen facturación sólo en los primeros tramos, situación que podría complejizar sus inversiones.

Facturación anual en UF	Gerenciamiento de Proyectos	Servicios de Arquitectura	Ingeniería Estructural	Inspección Técnica y Construcción
< 2.400	126	260	350	635
2.401 – 25.000	468	592	50	180
25.001 – 100.000	0	0	4.100	0
>100.000	1.230	0	0	0

Los valores se expresaron en UF.

Tabla 9: Costos de adopción BIM promedio por especialidad de consultores y contratistas MOP-MINVU por tramo de facturación.

En casi todos los tramos se observó la fuerte incidencia que presentó la inversión en software, liderando el gasto, sólo con la excepción del último tramo en que hay muy pocos datos por lo que es arriesgado emitir juicio. Respecto de la distribución del gasto por tramo se observó que casi siempre creció en la medida en que aumentó el monto de la facturación y que en la mayoría de los casos el mayor gasto ocurrió en la partida software y el menor en capacitación.

Promedio ponderado por fuente de costo	< 2.400	2.401 – 25.000	25.001 – 100.000	>100.000
Hardware	52,75	169,11	900	600
Software	111,25	208,58	1.650	380
Capacitación	130	90,42	1.550	350

Los valores se expresaron en UF.

Tabla 10: Costos promedios de adopción BIM por monto de facturación de consultores y contratistas MOP-MINVU.

El análisis del gasto realizado por tamaño de empresa mantuvo la tendencia de que las especialidades de ingeniería estructural e inspección técnica y construcción son las que más gastan en el tramo de menor cantidad de trabajadores y que a mayor cantidad de trabajadores es mayor el gasto en las especialidades de gerenciamiento de proyectos y servicios de arquitectura. La escasa participación de información en los otros tramos debilitó las conclusiones del análisis.

Costos	Gerenciamiento de Proyectos	Servicios de Arquitectura	Ingeniería Estructural	Inspección Técnica y Construcción	Promedio ponderado
Hardware	175,5	125,14	100	30	124,14
Software	104	162,85	0	300	153,99
Capacitación	115	67,42	250	305	127,99
Total por especialidad	394,5	355,41	350	635	

Los valores se expresaron en UF.

Tabla 11: Costos promedios de adopción BIM por monto de facturación de consultores y contratistas MOP-MINVU.

Costos	Gerenciamiento de Proyectos	Servicios de Arquitectura	Ingeniería Estructural	Inspección Técnica y Construcción	Promedio ponderado
Hardware	60	236	0	200	173,5
Software	60	425	25	100	279,5
Capacitación	170	49	25	50	70,9
Total por especialidad	290	710	50	350	

Los valores se expresaron en UF.

Tabla 12: Costos de adopción BIM de consultores y contratistas MOP-MINVU con entre 10 y 20 trabajadores.

Respecto del gasto por fuente de costo (hardware, software y capacitación), se mantuvo la tendencia de que el mayor gasto se produjo en la partida software, cuestión que también ocurrió en los tramos de mayor tamaño.

Hardware:

Las opciones de hardware propuestas estuvieron condicionadas por la capacidad de los equipos para la ejecución de procesos, la velocidad de análisis y las características esperadas de los entregables, estimándose que existen al menos tres alternativas que podrían cumplir con las expectativas. Hay que señalar que se estima que la temporalidad de estos equipos debiera estimarse para una duración de entre tres y cuatro años en condiciones ideales. Las opciones propuestas son las siguientes.

Opción 1: Gama baja (PC armado en Chile por piezas).

- Procesador Intel Core i7- 6700 - CPU 3.40 ghz
- RAM 8 Gb DDR un módulo
- Tarjeta de video Nvidia quadro k 620 2 Gb de RAM
- Disco Duro disco SSD mínimo 128 Gb
- Fuente de poder 700w mínimo, línea de 12v exclusiva, PFC activo, certificación 80 plus
- Pantallas: 2

Opción 2: Gama media (PC armado en Chile por piezas).

- Procesador Intel Core i7-7700 Kaby Lake
- RAM 16 Gb DDR 2 módulos
- Tarjeta de video Nvidia GTX 1060
- Disco duro Disco SSD mínimo 250 Gb
- Fuente de poder 700w mínimo, línea de 12v exclusiva, PFC activo, certificación 80

- plus
- Pantallas: 2

Opción 3: Gama alta (PC de marca comprado en USA).

- Hp Z820 Workstation
- Procesador Intel Xeon E5-2620 6C
- RAM 32G
- Tarjeta de video Nvidia Quadro K2000
- Disco duro Disco 1 : SSD 256G Kingston SV300S3
- Disco duro Disco 2: HDD 300G WD
- Disco duro Disco 3: HDD 250G HP
- Fuente de poder 700w mínimo, línea de 12v exclusiva, PFC activo, certificación 80 plus
- Pantallas: 2

Software:

Respecto del software se escogieron las opciones más mencionadas por los encuestados y por los entrevistados y que corresponden a las más utilizadas en el mercado nacional, las tres opciones cotizadas consideraron la versión completa de Revit que incluye toda la colección para arquitectura, ingeniería y construcción, una segunda opción con sólo Revit y finalmente la alternativa Archicad.

Los valores referenciados corresponden a precios de lista y tiene temporalidad anual, situación que suele desmotivar la inversión porque la modalidad de pago a través de anualidades que permiten el uso y la actualización del bien, no suele ser una práctica habitual en el país, en que culturalmente el sentido de propiedad es muy fuerte y la disposición a otro tipo de transacciones presenta límites y resistencias.

Capacitación

Para lograr implementar la plataforma BIM es necesario que se establezcan políticas que permitan y favorezcan la inclusión a través de capacitaciones con equipos internos y externos liderados por profesionales comprometidos con la iniciativa que tengan claro el proceso a realizar y cuenten con los medios técnicos para lograrlo.

Para costear el aprendizaje de BIM se analizaron las opciones de capacitación interna y externa, entendiendo por ellas el lugar donde se realizan y que en el primer caso corresponde a la que se realiza en el lugar de trabajo con la participación de un experto que en un horario previamente establecido instruye a un grupo de personas en el uso de la metodología, el tamaño del grupo recomendado varía entre cinco y seis personas y la jornada no debiera superar las cuatro horas diarias, la cantidad de sesiones es variable y depende del nivel de profundidad que se requiera, lo estándar es que existan planes introductorios o básicos con alrededor de quince horas de extensión, un segundo nivel medio con aproximadamente treinta de horas de extensión y un nivel avanzado con sesenta horas de extensión.

La opción externa equivale a participar de las alternativas que ofrece el mercado focalizado en las instituciones de educación superior, educación técnica o en distintas instituciones asociadas a proveedores. La oferta del sector considera prácticamente los mismos tramos de oportunidades, con variación en la extensión de las jornadas y en la periodización de la oportunidad. Se negocian individualmente y los que participan no necesariamente están condicionados por la necesidad laboral.

Resumen de costos:

Las distintas alternativas de hardware, software y capacitación propuestas se instalaron en la matriz de costos por variable a fin de tener una mejor visibilización del monto de las inversiones que

deben necesariamente combinar una opción por columna en el caso de los recién iniciados, y sólo en las dos primeras cuando se trata de personas con conocimiento de uso y manejo de la plataforma.

Hardware		Software (anualidad)		Capacitación			
				Interna		Externa	
Opción	Precio	Opción	Precio	Opción	Precio	Opción	Precio
Gama baja	53,69	Revit	21,93	15 horas para grupo de 5 a 6 personas	35,18	Nivel Introductorio 15 a 20 horas, precio por persona	9,26
Gama media	64,80	Archicad	30,15	30 horas para grupo de 5 a 6 personas	61,10	Nivel básico 32 horas, precio por persona	13,33
Gama alta	92,57	Suite AEC / Revit / AutoCAD / InRoads / Civil 3d / Navisworks	60,84	60 horas para grupo de 5 a 6 personas	111,08	Nivel medio avanzado 60 horas, precio por persona	24,07

Los valores se expresaron en UF.

Tabla 13: Costos por variable y operaciones.

Asumir que la adopción de la metodología BIM ocurre junto con la creación de la empresa es una situación de excepción, lo habitual es que existan precedentes de equipamiento y fundamentalmente de conocimiento por lo que pareciera que la decisión de implementación considera la migración de un sistema a otro comparando atributos y precios; respecto de los primeros en la industria existe convencimiento acerca de los beneficios de migrar a BIM, pero según lo declarado por los consultados pareciera que los costos son la mayor dificultad, razón por la cual es pertinente estudiar opciones no sólo entre alternativas BIM sino que respecto de otras plataformas, a fin de conocer el diferencial entre una y otra opción y poder decidir considerando todas las posibilidades.

Actualmente el uso de CAD representa el estándar por lo que es conveniente calcular el impacto de la migración a BIM estudiando los costos de ambos y comparándolos en los ítems que corresponde, debido a que actualmente la capacitación representa un desembolso importante sin embargo en el mediano y largo plazo debiera disminuir al incorporar al mercado profesionales capacitados.

Hardware		Software		Capacitación promedio por persona	Precio unitario por puesto de trabajo en tres años	Diferencial BIM - CAD
Opción	Precio	Opción	Precio			
Gama baja	53,69	Revit	21,93	7,5	126,98	-76,54
Gama media	64,80	Archicad	30,15	11,75	167	-36,52
Gama alta	92,57	Suite AEC / Revit / Autocad / Infraworks / Civil 3d / Navisworks	60,84	21,29	296,38	92,86
Gama media	64,80	AutoCad 2019	46,24	0	203,52	

Los valores se expresaron en UF.

Tabla 14: Comparación costos BIM/CAD corto plazo.

Hardware		Software		Capacitación promedio por persona	Precio unitario por puesto de trabajo en tres años	Diferencial BIM - CAD
Opción	Precio	Opción	Precio			
Gama baja	53,69	Revit	21,93	0	119,48	-84,04
Gama media	64,80	Archicad	30,15	0	155,25	-48,27
Gama alta	92,57	Suite AEC / Revit / Autocad / Infraworks / Civil 3d / Navisworks	60,84	0	275,09	71,57
Gama media	64,80	AutoCad 2019	46,24	0	203,52	

Los valores se expresaron en UF.

Tabla 15: Comparación costos BIM/CAD largo plazo.

El cálculo del diferencial entre opciones BIM considerando la versión de AutoCAD 2019. Esta evidencia que sólo con la mejor de las combinaciones BIM el costo es mayor, en los otros casos de acuerdo con los precios de mercado publicados es más caro CAD, la opción de largo plazo que elimina la capacitación acerca aún más el diferencial resultando en tres años que es el plazo que se estima requiere el cambio de hardware un costo marginal de 23,86 UF anuales.

A corto plazo, el promedio de las tres combinaciones equivale a un ahorro del 3,31%, mientras que a largo plazo, el ahorro de utilizar BIM aumenta al 9,95% respecto a la utilización de CAD.

Esta simulación realizada sólo para instalar la decisión de implementación BIM en la habitualidad de las empresas consultoras MINVU – MOP corresponde a una aproximación factible de

considerar en el análisis de inversión, independiente de que la evaluación debe formularse considerando los costos por especialidad y en la situación actual.

4.1.4. Beneficios:

La apreciación de los beneficios derivados de un proceso integral efectivo se manifiesta de manera cuantitativa en diversos aspectos. Primordialmente, se destaca la disminución potencial de Obras Extraordinarias, un indicador directamente vinculado a la mejora en la rentabilidad. Asimismo, la identificación temprana de los Requerimientos de Información se traduce en ventajas durante la fase de construcción del proyecto, al mitigar las demoras ocasionadas por la falta o fallos en la información disponible (Cárdenas Real, 2016).

En mayo de 2010, se llevó a cabo una estimación de los beneficios de realizar beneficios asociados a la implementación de la coordinación digital de proyectos mediante tecnologías BIM.

Este análisis se centró en la identificación de las fallas inherentes a un proyecto de construcción ya culminado, resaltando cómo la aplicación de la metodología BIM en la coordinación digital de especialidades podría haber prevenido ciertos contratiempos (Saldias Silva, 2010).

En la investigación, se examinaron tres obras de construcción, compuestas por dos edificaciones y un centro comercial. El análisis se enfocó en cuantificar los costos asociados a la implementación de BIM, contrastándolos posteriormente con los sobrecostos incurridos debido a la ausencia de coordinación con tecnologías BIM

4.1.4.1 Resumen proyectos analizados

La proyección de los resultados de este estudio permite vislumbrar claramente cómo la inversión inicial en la implementación de BIM podría haber actuado como un salvaguarda financiero, previniendo gastos adicionales derivados de la falta de coordinación digital en proyectos de

construcción. La intersección entre los costos de implementación y los potenciales sobrecostos revela una relación significativa entre la adopción temprana de tecnologías como BIM y la optimización de la rentabilidad en el ámbito de la construcción.

Proyecto	GS	MPE	AC
Costo Total Obra [UF]	688.400	516.000	235.446
Total Extraordinarios [UF]	103.583		11.308
Costo de Implementación [UF]	1.538	990	823
N° OE	231	190	119

Tabla 16: Información de proyectos

Escenarios	Concreto			Favorable		
Proyecto	GS	MPE	AC	GS	MPE	AC
N° OE Evitadas/Previsibles	81	47	23	120	83	49
Ahorro [UF]	9.428	3.145	293	11.584	4.049	427
% Costo Construcción	1,37%	0,61%	0,12%	1,68%	0,78%	0,18%
% Costo OOOE	9,10%		2,59%	11,18%		3,77%
ROI	6,13	3,18	0,36	7,53	4,09	0,52
	6:1	3:1	0,4:1	8:1	4:1	0,5:1

Tabla 17: ROI de la aplicación BIM en los tres proyectos analizados

Tanto en el proyecto GS, como en el MPE se obtuvo ROI no solo positivo, si no que bastante favorable (de 6:1 y 3:1 respectivamente), mientras que para el caso de AC el ROI fue negativo, donde los costos de implementación fueron más del doble que los beneficios.

Para los casos de ROI positivo, hay que tomar en cuenta que los beneficios involucrados correspondían solamente a ahorros por detectar errores de diseño en etapas tempranas (errores que tienen implicancia en la etapa de construcción, es decir, los que se traducen en Obras Extraordinarias). Si se hubieran utilizado otras aplicaciones (prefabricación, modelos 4D, integración del modelo con otros softwares de análisis, etc.) existirían otros beneficios en términos de reducción de costos, aumento de productividad y una mejora de la calidad del producto.

En cuanto al proyecto con ROI negativo, se puede concluir que al mandante no le conviene invertir en una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM cuando se trata de edificios con plantas y números de pisos relativamente estandarizados, donde los errores de diseños son mínimos. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que este análisis no incorporó beneficios tales como el mayor control de la documentación, mejor entendimiento del concepto del proyecto, menor incertidumbre en los trabajos a realizar, trabajos rehechos no documentados, problemas de la secuencia constructiva que se podrían evitar con BIM, etc. beneficios difíciles de cuantificar y que se traducen, principalmente, en un mayor valor/calidad del proyecto que se está realizando.

4.2. Localización y Transporte

El análisis del emplazamiento en proyectos de construcción es crucial para agregar valor a la propiedad y garantizar una rentabilidad óptima. La promoción de un desarrollo urbanístico sostenible se logra mediante estrategias basadas en el modelo de ciudad compacta, el fomento del transporte alternativo, la ubicación en zonas previamente desarrolladas, la protección de áreas ambientalmente sensibles y el respeto por la salud de las personas.

La localización óptima contribuye significativamente a lograr la mayor tasa de rentabilidad sobre el capital y obtener un retorno positivo de la inversión. El análisis debe considerar la instalación del proyecto en sitios idóneos, minimizando costos y mejorando el acceso a recursos y equipos. Las características de las comunas, y el contexto en que se insertan, van a demandar distintos tipos de planificación; el dinamismo y el grado de consolidación que presente la comuna, el que sea aislada, compacta o disgregada, interior o borde, constituyen factores decisivos y exigen instrumentos que interpreten esas diferencias, la realidad de cada comuna.

Este enfoque en la planificación del emplazamiento asegura un desarrollo armonioso, rentable y sostenible, alineado con las necesidades y contextos particulares de cada comunidad (González, 2023).

4.2.1. Ciudad y Medio Natural

Conforman un sistema en el que ambos componentes se complementan, se entrelazan y se condicionan recíprocamente. Cuando se vive en un medio cada vez más construido, aumenta la necesidad del mundo natural, incluyendo en este no sólo el reino vegetal, sino también la tierra, el agua y el viento, elementos que ofrecen toda una gama de posibilidades para ser incorporadas a las construcción de las ciudades, junto con imponer restricciones, la vida con un medio natural de alto alcance cada vez se está evaluando como una vida más sana y feliz.

4.2.2. Consumo de suelo de valor silvoagropecuario

No obstante que en algunos casos la comuna puede encontrarse inserta en el plan regulador intercomunal en el que ya se haya establecido la respectiva área de extensión urbana, el plan regulador comunal debe poner especial atención a los límites de crecimiento de los centros urbanos, siendo riguroso en el consumo de tierras de alto valor silvoagropecuario, que representan un recurso finito, y respetuoso de las áreas que constituyen patrimonio ambiental natural.

4.2.3. Estructuración

Considerando que la fuerza de la ciudad radica en la concentración de personas y actividades en su interior, es necesario que el instrumento desincentive su localización fuera de ella, especialmente a lo largo de carreteras, ya que ello produce conurbaciones inorgánicas que terminan provocando el colapso de las vías de transporte, y generando un modelo de ciudad en el que la actividad urbana, que constituye su esencia, se ve negada.

4.2.4. Relación con el campo

En países como el nuestro, donde las ciudades tienden a expandirse, uno de los aspectos que se debe tratar con extrema cautela, es el que se refiere a sus bordes, al encuentro entre la ciudad y el

campo. Es frecuente que allí se produzcan tensiones derivadas de las diferentes potencialidades de desarrollo que presentan una y otra, como también, se generen situaciones conflictivas provocadas por las externalidades negativas que las actividades urbanas y rurales pueden causarse recíprocamente.

4.2.5. Relación con el borde costero

Otro aspecto que en nuestro país requiere particular atención es el relativo a los efectos que provocan sobre el borde costero, la demanda por la localización de actividades diversas que presionan por su uso, y no siempre son compatibles entre sí, pero sigue siendo de alta demanda el borde costero del país, donde las personas buscan tener su segunda vivienda.

4.2.6. Calidad Urbana

El atractivo de una ciudad es consecuencia de un sinnúmero de atributos que le imprimen “calidad urbana”. Éstos se vinculan directamente con el nivel de satisfacción de los requerimientos para el desarrollo de su propia población, y con su capacidad para responder a las exigencias de hoy, en términos económicos, institucionales, políticos, culturales, morfológicos y ambientales:

- Gradualidad en el tiempo: Se trata de ser realistas respecto de las tendencias de localización e inversión, e ir paulatina y gradualmente introduciendo el desarrollo de la ciudad a través de la planificación.

- Gradualidad en el espacio: El diseño de las normas correspondientes a las zonas colindantes con las comunas vecinas debe ser acomodado en conjunto, especialmente cuando el límite entre ambas es un espacio público.

- Variedad y Diversidad: Una variedad dada en los usos y una diversidad en lo social. La vida urbana no está hecha de una sucesión de actividades independientes y yuxtapuestas, sino de la mezcla

de funciones interactuantes y complementarias, que hacen que lo más característico de una ciudad sea el intercambio de capacidades.

- Inserción en el Sistema Urbano: El ser parte de una ciudad confiere a una comuna; beneficios y obligaciones que eventualmente pueden afectar sus intereses como individualidad. En efecto, el hecho de estar inserta en ese ámbito mayor, exige que las respuestas a sus propias expectativas y aspiraciones se integren a una óptica de mayor perspectiva y generosidad, que en algunos casos puede limitar su interés particular.

- Densidad adecuada: Uno de los elementos más característicos de la ciudad es la densidad: determinada su existencia, produce la “atmósfera urbana” y posibilita la supervivencia de comunidades animadas y activas. Es una herramienta decisiva para: mejorar el aprovechamiento del suelo urbano, afianzar el carácter urbano de un territorio y crear diversidad morfológica.

- Topografía: Existencia de una topografía uniforme, complementada con buena panorámica, esta es una característica vital en sectores de segunda residencia y balnearios.

4.2.7. Localización de Actividades Económicas.

El concepto básico que rige la localización de una actividad económica es la de maximización de beneficios. En términos generales, los factores de localización son:

- Accesibilidad: Tanto en términos de acceso a las fuentes de insumos para la actividad, como en términos de la colocación de la producción en los mercados correspondientes.

- Complementariedad: Se define en la concentración en áreas urbanas de aprovechamiento similar del suelo en base a actividades homogéneas. El agrupamiento espacial es el atributo principal de la urbanización y contiene consecuencias económicas trascendentales. Significa que la gente puede realizar negocios entre sí con menos dificultad, con menor costo y mayores oportunidades. Es decir,

pueden reducir sus costos agregados al aprovechar mejor los servicios de infraestructura urbana (transporte colectivo, servicios comunitarios, etc.). De la misma forma aprovechando las diferentes opciones que ofrece el mercado urbano, el individuo puede cambiar su actividad o empleo, de tal modo de obtener mayores y mejores bienes y servicios más accesibles. Para dar referencia al emplazamiento de determinado bien raíz, lo más cercano en su tipificación es el “barrio” donde se ubica; cuyas características son importantes y definen el nivel de precios. Será importante descubrir las características que fijan un área homogénea; es decir los usos de suelos, tipologías arquitectónicas, morfología, características socioeconómicas y tipo de habitantes. Un instrumento de ayuda importante es la caracterización de un barrio es la normativa y zonificación definida en los instrumentos de planificaciones vigentes para el área en estudio.

4.2.8. Suelo Urbano

El suelo urbano es un activo de carácter indestructible y por lo tanto de duración indefinida. El suelo urbano forma parte del conjunto de bienes que se transan en la economía interna de un país y por lo tanto queda afectado por las variables macroeconómicas de éste. Esto resulta aún más claro si se considera que en el ámbito urbano la demanda del suelo es derivada, es decir, sujeta a condiciones que afectan a las actividades urbanas que lo requieren. Nadie construirá una casa de un piso en el lugar donde se podría instalar un edificio residencial o construir un centro comercial donde la expectativa de afluencia de público pudiese ser nula. Por esta vía de análisis puede explicarse la relevancia que tiene respecto del mercado de suelos, tanto del modelo económico que se aplique, como los factores histórico-físico funcionales, económicos y sociales de la ciudad, comuna o barrio. Una relativamente estable proporción de la incidencia del valor del sitio en el valor de las viviendas induce a que en sitios de alto valor tiendan a construirse propiedades con características también de alto valor y viceversa.

4.2.9. Concepto de Plusvalía

Es concepto económico con varios significados. Por un lado, plusvalía designa un incremento de valor generado y obtenido en una operación económica (de tipo bursátil o inmobiliaria, por ejemplo). Una segunda definición de plusvalía correspondería al incremento de valor creado en un bien o derecho cuando se realiza una transmisión en la propiedad de éstos. Las economías externas o agregadas que se producen en la ciudad ejercen una fuerza de atracción para las actividades humanas, que en gran medida explican el fenómeno ciudad y que surgen de la propia concentración geográfica. Ello se conoce como aglomeración. Se entiende por externalidad urbana a una consecuencia o efecto, manifiesto o latente, aislado o en cadena, inmediato o retardado, que se produce en el medio ambiente urbano a consecuencia de un proyecto específico. Las externalidades tienen una gran importancia en la explicación de los altos valores de suelos en ciertos espacios de la ciudad. Esta noción se refiere a las áreas o espacios sujetos a una gran influencia de vías y medios de transporte, lo que en definitiva se traduce a una gran afluencia de personas. La existencia de estas externalidades parece ser tan crítica para la viabilidad de ciertas actividades que la competencia por estos espacios genera grandes diferencias de valor en distancias relativamente muy pequeñas (1 a 3 cuadras). Los propietarios captan a través de la renta, las externalidades de las cuales se sirven las diversas actividades. La concentración de la propiedad del suelo urbano en manos de reducido número de propietarios también puede dar origen a situaciones que se traducen en alzas en los valores del suelo. No es necesario que dicho control se refiera a grandes extensiones de terreno solamente. El elemento clave reside muchas veces en las características particulares de los suelos en diferentes áreas del espacio urbano y bajo el grado de sustitución de la localización de ciertas actividades; las áreas residenciales más exclusivas (modas), la retención de suelos, el crecimiento urbano discontinuo, etc.

Los valores del suelo urbano se ven afectados también por la interacción dinámica de los servicios públicos y privados. No siempre es posible aclarar si es la dinámica privada la que condiciona y orienta el gasto público y la normativa correspondiente, o si, por el contrario, la dinámica pública establece las bases para el desarrollo de la iniciativa privada. Si las decisiones públicas más amplias sobre uso de suelo, se añade la dinámica del sector público en materia de servicios, inversiones en infraestructura y equipamiento, se tiene un elemento adicional para entender la dinámica del mercado de suelos, especialmente en términos de externalidades que se generan para propietarios e inversionistas. El desarrollo de la infraestructura urbana por parte del sector público genera importantes ganancias a los propietarios de la tierra por la vía de la valorización que producen las inversiones. Por otra parte, la ejecución de grandes inversiones inmobiliarias al interior de las áreas urbanas también valoriza los suelos y define en buena medida, la estructura urbana en forma directa y a través de los estímulos del sector privado. Las ciudades que poseen instrumentos de planificación territorial como planes reguladores comunales; posee la facultad de priorizar zonas, las cuales por este sólo hecho ya verán un aumento en su plusvalía.

4.2.10. Proyectos:

A continuación, se comparan dos proyectos en proceso de ventas ubicados en distintos puntos de la Región de Valparaíso.

4.2.10.1. Salinas del Mar II, Inmobiliaria ISN

Nuestras Terminaciones

SALINAS DEL MAR II cuenta con departamentos de 1, 2 y 3 habitaciones con 1, 2 y 3 baños y departamentos tipo estudio con el dormitorio principal en suite. Cada departamento brindará la oportunidad de aprovechar al máximo sus espacios.

 Shower en baño dormitorio principal	 Ventanas termo panel en estar, comedor y dormitorios
 Agua caliente con Sistema de Caldera Energy	 Equipamiento de cocinas con encimera vitrocerámica, horno eléctrico y campana extraíble.
 Moderno diseño de muebles	 Guardapolvos enchapados en madera
 Puerta principal enchapada en madera	



Ilustración 10: Información proyecto Salinas del Mar II

El proyecto se describe con una arquitectura de vanguardia, donde se enfatiza la vista, mencionando los espacios comunes como únicos, su conectividad no es buena, ya que no pasa la locomoción colectiva directa, pero destacamos sus espacios comunes y terminaciones.

La ubicación del proyecto se encuentra en Halimeda Oriente #1630, Reñaca, Viña del Mar.

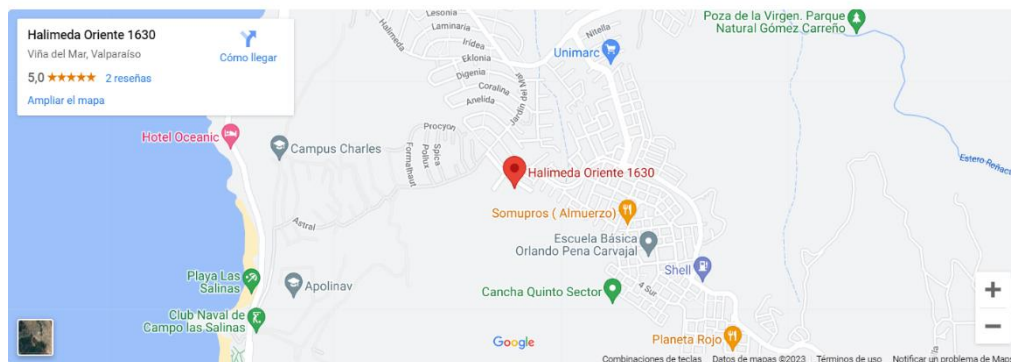


Ilustración 11: Ubicación proyecto Salinas del Mar II

El proyecto se encuentra notablemente alejado de la línea de la costa, lo cual difiere de la preferencia común en proyectos de gran envergadura en la quinta región, donde la proximidad a la costa suele ser un factor relevante.

En el proceso de análisis, se optó por cotizar un departamento específico para realizar un estudio de UF/M2. La elección recayó en la planta más grande del proyecto, posiblemente con el objetivo de obtener datos representativos de un espacio más amplio.



COTIZACIÓN 93.944



SEÑOR(A) : Victoria Chafarik
RUT : 19049077-7
TELÉFONO : +56961636771
EMAIL : chafarik.14@gmail.com

Condominio Salinas Del Mar
05-05-2023 11:28
COTIZACIÓN N°: 93.944

I. CARACTERÍSTICAS

TIPO	NÚMERO	PISO	MODELO	PROGRAMA	ORIENTACIÓN	SUP. ÚTIL	SUP.	SUP. TOTAL
DEPARTAMENTO	206	2	D	3D 3B	NO	103,60 m²	17,68 m²	121,28 m²

II. PRECIOS

DEPARTAMENTO	206	: UF	7.260,00	\$	260.662.750
PRECIO VENTA	206	: UF	7.260,00	\$	260.662.750
TOTAL		: UF	7.260,00	\$	260.662.750

III. FORMAS DE PAGO

	PORCENTAJES	VALOR EN UF	VALOR EN
Reserva	0,38 %	27,85	\$ 1.000.000
Cuotas durante la construcción: 1 cuotas de 1.061,15 UF	14,62 %	1.061,15	\$ 38.099.412
Crédito Hipotecario	85,00 %	6.171,00	\$ 221.563.337
TOTAL	100,00 %	7.260,00	\$ 260.662.750

PLAZO DEL CRÉDITO	20 años	25 años	30 años
Tasa de interés anual	3,90%	3,90%	3,90%
Dividendo aproximado en UF	36,85	32,00	28,87
Dividendo aproximado en \$	1.323.095	1.149.036	1.036.428
Renta mínima	5.292.380	4.596.142	4.145.712

*Los montos en pesos corresponden al valor de la UF de \$ 35.903,96 al 05/05/2023, por lo cual sólo se citan como referencia.

Ilustración 12: Cotización proyecto Salinas del Mar II

UF	M2	VALOR UF/M2
7260	121,28	59,86

Tabla 18: UF/M2 proyecto Salinas del Mar II



Ilustración 13: Planta proyecto Salinas del Mar II

4.2.10.2. Playa Cochoa, Inmobiliaria Numancia

El proyecto se define como una vista inigualable, haciendo mucho énfasis en sus grandes terrazas que cuenta el departamento, al estar en la línea de costa, es importante este atractivo para poder vender el proyecto. Departamentos ubicados frente al mar en pleno borde costero de Reñaca-

Cochoa. Edificio Playa Cochoa es un proyecto de diseño vanguardista, con insuperable vista al mar y hacia la bahía de Valparaíso, con múltiples áreas comunes.



Ilustración 14: Información proyecto Playa Cochoa

La ubicación del proyecto se encuentra en Avenida Borgoño #18900, Viña del Mar.



Ilustración 15: Ubicación proyecto Playa Cochoa

Como podemos apreciar el departamento se encuentra en primera línea de la costa, teniendo un acceso directo, se cotiza la planta más grande para poder comparar UF por M2.

Datos de la unidad DEPARTAMENTO _1405

Tipo de Propiedad Departamento

Orientación

Tipología 2D - 2B

Modelo Tipo 11



Precio (UF)

DEPARTAMENTO _1405 11.484,00 UF

Subtotal 11.484,00 UF

Dcto 1.378,08 UF

Total 10.105,92 UF

Superficies (m2)

Sup. Útil 59.4 m2

Sup. Terraza 39.16 m2

Sup. Total 98.56 m2

Simulación del Pago

	%	Monto UF
Pie	20%	2.021,18 UF
Crédito Hipotecario	80%	8.084,74 UF
Total	100%	10.105,92 UF

Dividendo en pesos, Pie 20%, saldo 80% a 30 años plazo, Tasa de interés 4 % (Montos y tasa referencial).

Monto Crédito \$ 290.274.038

Dividendo Mensual \$ 1.374.045

Notas de la Cotización

Ilustración 16: Cotización Playa Cochoa

Se concluye el valor por M2.

UF	M2	VALOR M2/UF
11848	98,56	120,21

Tabla 19: UF/M2 proyecto Playa Cochoa



Ilustración 17: Planta proyecto Playa Cochoa

Si comparamos ambos proyectos en sus terminaciones y espacios comunes son muy similares, ambos apuntan a una Arquitectura vanguardista, donde se le da cabida a grandes terrazas y terminaciones de las mejores líneas, pero como podemos ver la diferencia entre UF Y M2 es del 49,87% el proyecto de Numancia por sobre el de ISN, netamente el factor que define la magnitud de la diferencia es la ubicación.

Así es como definimos que la ubicación es algo determinante a la hora de la inversión de los proyectos inmobiliarios. Ahora, sabiendo que el valor de venta de un proyecto ubicado en un sector de alta plusvalía y conectividad es el doble de un proyecto alejado, y que el rango que se maneja para el costo del terreno es de 10%, 14% o hasta 20%, entonces podemos concluir que el valor de un terreno alejado es el 10% del proyecto inmobiliario total, entonces para un proyecto ubicado en un sector de alta plusvalía y conectividad el valor del terreno llegaría a 20% del proyecto inmobiliario total (ya que el valor de venta es el doble). Por lo tanto, un proyecto inmobiliario con alta conectividad podría llegar a ser hasta un 10% más caro que uno con conectividad reducida.

Si el terreno tiene un precio elevado, el proyecto se verá obligado a venderse a un precio más alto, lo que podría conducir a una reducción significativa en la absorción de ventas. Este fenómeno, conocido como el "precipicio del mercado", representa el límite de precio que un segmento de mercado está dispuesto a pagar por una unidad. Un mayor precio puede resultar en una absorción más lenta de ventas, impactando directamente en la Tasa Interna de Retorno (TIR).

4.2.11. Características que determinan el valor de UF/m²:

En el ámbito inmobiliario, diversas variables inciden en la determinación del valor de una propiedad. Este valor no solo se ve influenciado por la ubicación del inmueble, sino también por otros aspectos de gran relevancia, tales como las características inherentes a la propiedad, la demanda en el mercado, la plusvalía acumulada con el tiempo, las condiciones del mercado y, por último, las amenidades y servicios disponibles en las cercanías.

La ubicación de un inmueble emerge como el factor preponderante al calcular su valor. La disparidad entre una vivienda ubicada en un distrito central y consolidado de una metrópoli frente a otra en una zona periférica o rural es evidente. Aquellas áreas con una alta demanda y una oferta limitada suelen ostentar un valor por metro cuadrado más elevado. Este fenómeno guarda estrecha

relación con la accesibilidad; viviendas cercanas a estaciones de metro, paradas de autobús o estaciones de tren suelen exhibir un valor más elevado debido a la facilidad de desplazamiento.

Si desglosamos la influencia de cada una de las características mencionadas anteriormente en porcentajes, la ubicación se revela como el pilar fundamental. A saber:

- Ubicación: 30% - Este componente es esencial y ejerce un impacto significativo en el valor de una propiedad, considerando aspectos como accesibilidad, seguridad y entorno urbano.
- Características del Inmueble: 20% - Aspectos específicos como tamaño, diseño y estado general contribuyen de manera considerable al valor de la propiedad.
- Demanda del Mercado: 15% - La demanda vigente en el mercado inmobiliario puede influir en el valor de una propiedad; una demanda elevada puede aumentar su valía.
- Plusvalía: 15% - La plusvalía, que representa el aumento del valor con el tiempo, es un factor crucial para evaluar la inversión a largo plazo.
- Amenidades y Servicios: 10% - La proximidad a comodidades y servicios como parques, escuelas y centros comerciales puede impactar positivamente en el valor de la propiedad.
- Condiciones del Mercado: 10% - Las condiciones generales del mercado inmobiliario, incluyendo tasas de interés y oferta y demanda, también influyen en la valoración de la propiedad.

Considerando la información expuesta, la ubicación y la accesibilidad representan aproximadamente un 30% del valor del m² de un inmueble. En un análisis previo, donde se observó que el valor por metro cuadrado de una propiedad con una ubicación privilegiada era un 100% mayor que

aquella con una ubicación menos favorable, podemos concluir que la mejor ubicación añade un 30% adicional al valor del activo.

$$[(120-60)/60]*30\% = 30\%$$

4.3. Materiales y Recursos- Residuos

4.3.1. Medidas para controlar los residuos en la construcción

En el largo plazo, para orientar el rubro de la construcción hacia prácticas más amigables con el medio ambiente, es esencial seguir las directrices del Programa Construye 2025 en Chile. Este programa, impulsado por CORFO en línea con la Agenda de Productividad, Innovación y Crecimiento, tiene objetivos clave:

- Transformación de Prácticas: Busca cambiar la forma de construir en Chile, promoviendo métodos más sostenibles y eficientes.
- Mejora de Productividad: Enfoca en incrementar la productividad de la industria de la construcción, asegurando eficiencia y rentabilidad.
- Cambio Cultural hacia la Sustentabilidad: Genera un cambio cultural para valorar la sustentabilidad en el sector, priorizando el impacto positivo en el medio ambiente.
- Consideración del Ciclo de Vida: Promueve la evaluación del ciclo de vida completo de un proyecto, desde la obtención de materiales hasta su disposición final, considerando así su impacto ambiental a lo largo del tiempo.
- Bienestar de las Personas: No solo se centra en la eficiencia constructiva, sino también en el bienestar de quienes habitan las construcciones.

Este enfoque se alinea con la política Energía 2050, buscando generar políticas energéticas a largo plazo de manera participativa y considerando diversas perspectivas. La implementación de

Construye 2025 puede incorporarse en procesos como la certificación de materiales y la adopción de innovaciones tecnológicas en los procesos constructivos.

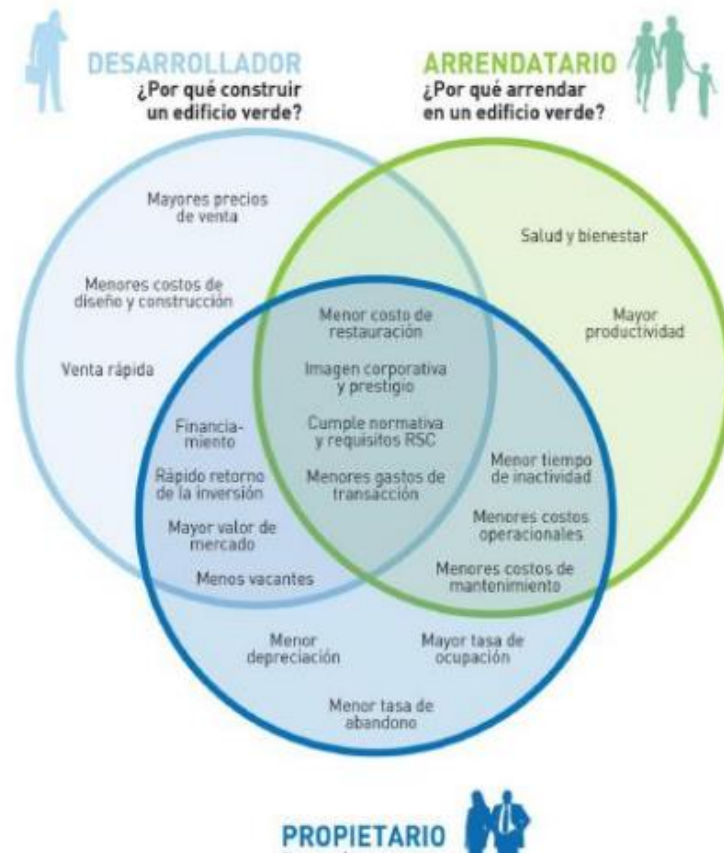


Ilustración 18: Esquema beneficios Construcciones Sustentables

La construcción es uno de los rubros con mayor importancia económica en el país, responsable del uso de aproximadamente el 50% de los recursos naturales empleados, 40% de la energía consumida y 50% del total de residuos generados (PUC, 2014).

En el ámbito de la construcción, los materiales utilizados constituyen un componente esencial, representando aproximadamente el 45% del costo total de un proyecto de construcción (Holz, 2022). La construcción sustentable ha ganado relevancia, siendo definida por prácticas que buscan reducir el

impacto ambiental y mejorar las condiciones de vida. Este enfoque ha experimentado un auge debido a la creciente demanda del mercado, donde la certificación y contabilidad de la sustentabilidad se perciben cada vez más como oportunidades de negocio.

La principal motivación para la construcción sustentable radica en mejorar la calidad de vida humana, destacándose iniciativas para reducir el consumo energético. En este contexto, la demanda de materiales de construcción en Chile ha sido significativa, impulsada por el continuo desarrollo y crecimiento del sector. Este crecimiento se ha visto alimentado por inversiones en infraestructura pública y el aumento de la población en áreas urbanas. El sector de la construcción no solo es una fuente vital de empleo, sino también un motor clave para la economía chilena, conformado por diversas empresas, que demandan una cantidad sustancial de materiales para llevar a cabo sus proyectos.

Algunos materiales de construcción que tienen mayor demanda en Chile son:



Ilustración 19: Materiales de Construcción más utilizados en la industria de la Construcción en Chile, con los respectivos fines en los que son utilizados

La energía gris se define por la energía necesaria para la fabricación, transporte y eliminación de los materiales. El cálculo de esa energía toma en cuenta el análisis del ciclo de vida completo de un

producto: concepción, extracción, transporte, transformación, fabricación, comercialización, uso y aplicación, y reciclaje si aplica.

Se calcula de esa manera la suma de las energías necesarias, de la concepción al reciclaje de un material. Hoy en día, pocas constructoras consideran este factor, que sin duda es muy importante en el consumo energético global para la construcción de una casa o un edificio. La parte gris de la energía total consumida por un edificio puede representar 50% sobre 40 años.

A continuación, se presentan valores comparativos de la energía gris de los materiales de construcción más usados en Chile. Esa cantidad de energía se expresa en kWh, siendo 10 kWh equivalente a 1 L de bencina. Estos valores son indicativos, pueden variar con el tiempo, con la evolución de las tecnologías de producción, los lugares de fabricación y los usos que se hacen.

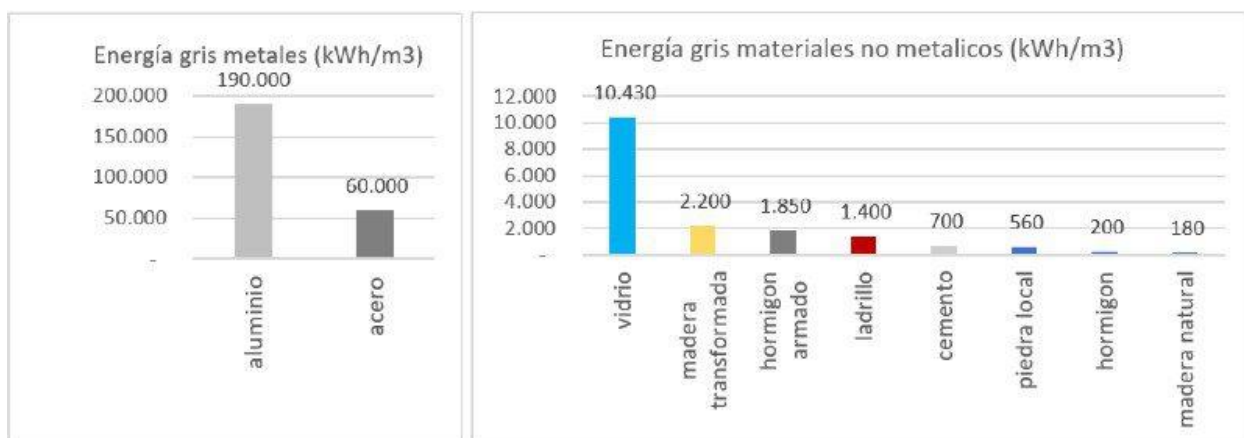


Gráfico 15: Energía Gris de los materiales utilizados en la Construcción en Chile, para metales y materiales no metálicos, respectivamente

La industria de la construcción en Chile es responsable de aproximadamente el 33% de las emisiones de gases de efecto invernadero y del 90% del material particulado fino (partículas de tamaño inferior a 2,5 μm) (Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, 2018).

Dentro de las etapas más contaminantes de la fabricación del hormigón, se destaca la producción de clinker, un componente fundamental del cemento. En esta fase, la calcinación de caliza y

arcilla emite alrededor de 900 kg de dióxido de carbono por cada tonelada de cemento producido (Rodgers, 2018) (Mahasenan, Smith, Humphreys, & Kaya, 2003)

Estos datos subrayan la necesidad apremiante de explorar alternativas más sostenibles en la industria de la construcción, especialmente en la producción de materiales como el hormigón, para reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero.

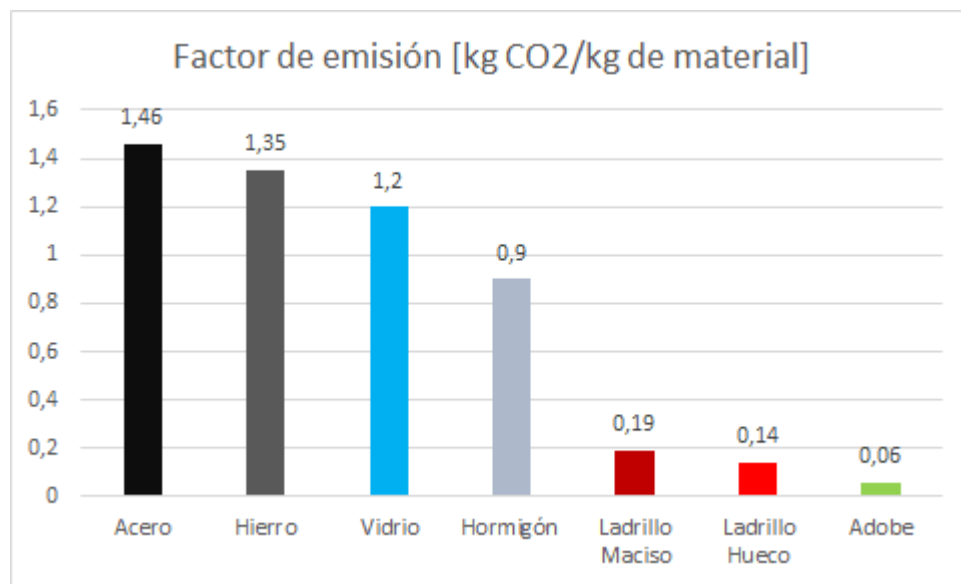


Gráfico 16: Factor de emisión de dióxido de carbono de los materiales usados en la construcción

Actualmente, existen alternativas sustentables que pueden reemplazar los materiales usados hoy en día. A continuación, se presenta una lista de algunos ejemplos de materiales en desarrollo o ya utilizados en la industria, que presentan propiedades físicas interesantes y características sustentables en acuerdo con los desafíos medioambientales que estamos enfrentando:

Material común	Material sustituto	Ventajas	Desventaja	Datos adicionales
Acero	Fibra de carbono	Resistencia a tensión y torsión	- Altos costos energéticos y financieros - Tiempo de fabricación - Poca resistencia a compresión	Emisión: 5 kg CO₂ / kg fibra de carbono
Hormigón	Ferrock (carbonato de hierro)	- Resistencia a la compresión => resiste a movimiento sísmico - Estable en entorno salado (construcción marina) - Carbono negativo¹	Material en proceso de desarrollo, todavía no adaptado a utilización a gran escala	
Vidrio	Cristal acrílico (PMMA) (BBC, 2020)	- Mayor resistencia al impacto que el vidrio - Mitad de peso del vidrio - Moldeable - Aislante térmico y acústico - Reparable ante rayas	- Difícil de reciclar - Usa petróleo como materia prima	
Ladrillos	Plastic Brick (Gaggin, 2008)	- Liviano - Aislante térmico y acústico - absorción de agua similar a los ladrillos - baja propagación de llama	Resistencia menor a los ladrillos convencionales	Útil para muros divisorios o casas de un piso
	Ecoladrillos	- Se fabrican a partir de desechos plásticos - Bajo costo - Aislante	- Resistencia menor que ladrillos convencionales - Falta de estandarización	- Útil para construcción a baja altura - Se pueden fabricar de forma artesanal

Tabla 20: Alternativas para los actuales materiales utilizados en la industria de la construcción

4.3.2. Ferrock

Ferrock es un material de construcción ecológico y sostenible, desarrollado por el ingeniero francés David Stone y se considera una alternativa más amigable con el medio ambiente al hormigón convencional (Martin Perry Associates, 2022).

La principal característica de Ferrock es que combina elementos de la industria del acero y la producción de cemento con materiales reciclados, como escoria de acero y cenizas volantes. Estos

materiales se mezclan con una solución rica en carbonato de calcio, que puede provenir de fuentes naturales como la caliza o incluso del reciclaje de conchas de mariscos.

Una vez que se mezclan los ingredientes, Ferrock puede ser moldeado y endurecido para formar estructuras sólidas similares al hormigón. Sin embargo, a diferencia del hormigón convencional, Ferrock tiene la propiedad de capturar dióxido de carbono (CO₂) a medida que se endurece, lo que lo convierte en un material con una huella de carbono negativa.

Actualmente es mucho más barato que el hormigón convencional ya que se obtiene de materiales de desecho, pero solo ve posibilidad de éxito en proyectos pequeños. Ferrock no es una solución rentable para proyectos de mayor escala. Los dos ingredientes principales de Ferrock son polvo de acero de desecho y sílice, los cuales son subproductos de otros procesos de construcción. Si Ferrock se convirtiera en un material de construcción convencional, el valor del polvo de acero 'de desecho' y la sílice se dispararía. También se necesita una gran cantidad de virutas de sílice y metal para crear Ferrock, y con ambos en un suministro limitado, hace que Ferrock no sea adecuado para grandes proyectos.

4.3.3. Fibra de Carbono

Una alternativa ecológica al acero de refuerzo en la construcción puede ser el uso de materiales compuestos de fibra de carbono. Estos materiales tienen propiedades similares o incluso superiores en términos de resistencia y durabilidad, pero generan un menor impacto ambiental durante su producción y tienen una menor huella de carbono.

La fibra de carbono es un material liviano que ofrece una excelente relación resistencia-peso y durabilidad. También es resistente a la corrosión y puede usarse en temperaturas extremas debido a su baja tasa de expansión térmica. Como resultado, se ha vuelto cada vez más popular en la industria aeroespacial, así como en otras industrias donde el ahorro de peso es fundamental. Además, es más

flexible que el acero, lo que lo convierte en una opción ideal para piezas que requieren flexibilidad o absorción de impactos.

Sin embargo, también tiene algunos inconvenientes. Es caro en comparación con otros materiales y requiere herramientas especiales para cortar y dar forma debido a su resistencia y durabilidad. Además, las piezas de fibra de carbono deben fabricarse con precisión, ya que no se pueden soldar ni soldar como las piezas de acero.

La fibra de carbono es un material más costoso que el acero debido a su producción y las tecnologías especializadas involucradas. Los precios de la fibra de carbono pueden variar ampliamente, generalmente en un rango de alrededor de 30 USD a 150 USD por kilogramo o más, es decir, por lo bajo, la fibra de carbono tiene un precio que es aproximadamente un 2900% más alto que el acero convencional (SMITeam, 2023).

Sin embargo, es importante destacar que los costos de la fibra de carbono han disminuido en los últimos años debido a avances en la producción y a una mayor disponibilidad en el mercado. A medida que la tecnología y las aplicaciones de la fibra de carbono continúan avanzando, es posible que los costos disminuyan gradualmente debido a la optimización de los procesos de producción y a una mayor oferta en el mercado.

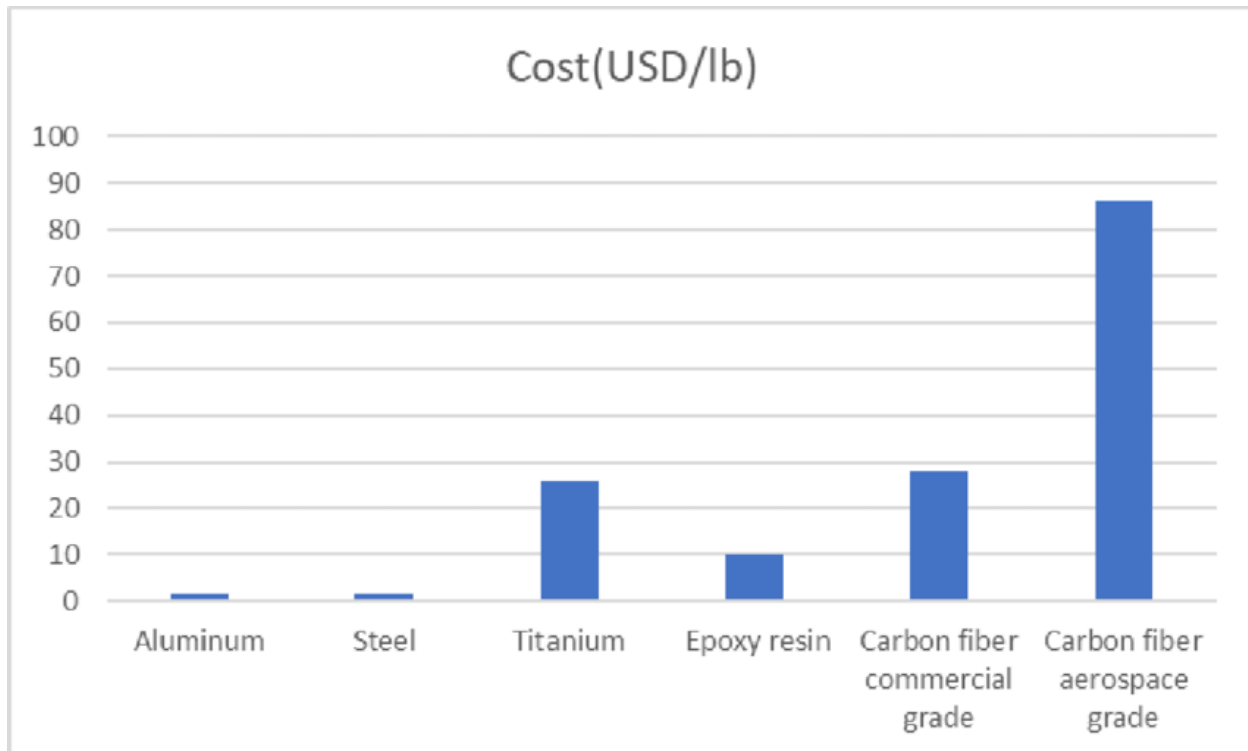


Gráfico 17: Comparación de costos de materiales de fabricación reconocidos (material versus costo/lb)

4.3.4. Cristal acrílico:

El cristal acrílico, también conocido como Polimetilmetacrilato (PMMA) es un material transparente que se utiliza como una alternativa al vidrio en diversas aplicaciones. El PMMA es un tipo de plástico que ofrece propiedades similares al vidrio, pero con algunas ventajas adicionales: es mas ligero, resistente a los impactos y tiene una alta transparencia óptica, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde se requiere una buena claridad visual. Además, el PMMA tiene una excelente resistencia a los rayos UV, lo que lo hace menos propenso a la decoloración y al deterioro cuando se expone a la luz solar.

Otra ventaja del cristal acrílico PMMA es su facilidad de conformado. A diferencia del vidrio, que requiere procesos de fabricación más complejos, el PMMA se puede cortar, moldear y termoformar con relativa facilidad, lo que permite su uso en una amplia variedad de formas y aplicaciones personalizadas.

El cristal acrílico PMMA se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo ventanas, paneles de visualización, señalización, iluminación, muebles, industria automotriz, acuarios y más. Es una alternativa popular al vidrio debido a su combinación de propiedades físicas y su versatilidad en el diseño.

El cristal acrílico PMMA tiene algunas características que lo hacen más ecológico en comparación con el vidrio, aunque también tiene consideraciones ambientales propias.

- Eficiencia energética: El PMMA tiene una mejor capacidad de aislamiento térmico que el vidrio, lo que significa que puede ayudar a reducir la transferencia de calor y mejorar la eficiencia energética de los edificios al reducir la necesidad de calefacción o refrigeración.
- Transporte y manipulación: El PMMA es más ligero que el vidrio, lo que puede reducir los costos y la energía requerida para su transporte. Además, su resistencia a los impactos puede hacer que sea menos propenso a romperse durante el transporte y la manipulación, lo que disminuye la generación de residuos y la necesidad de reemplazo.
- Reciclabilidad: El PMMA es un material reciclable y puede ser procesado para su reutilización en nuevos productos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la infraestructura de reciclaje puede variar según la región, y no todos los lugares cuentan con facilidades para reciclar PMMA.

Por otro lado, el proceso de fabricación del PMMA implica el uso de materias primas derivadas del petróleo, lo que tiene implicaciones en términos de la extracción de recursos y las emisiones asociadas. Además, el reciclaje del PMMA puede ser más complejo en comparación con otros materiales plásticos.

En última instancia, la evaluación de la ecoeficiencia de un material como el cristal acrílico PMMA debe considerar el ciclo de vida completo, desde la extracción de materias primas hasta la fabricación, el uso y el eventual reciclaje o eliminación. También es importante considerar las características y necesidades específicas del proyecto en términos de rendimiento, durabilidad y eficiencia energética.

En resumen, el cristal acrílico PMMA puede ofrecer ventajas en términos de eficiencia energética y transporte, pero también tiene consideraciones ambientales relacionadas con su proceso de fabricación y reciclaje.

Respecto a los costos, en general, el vidrio convencional utilizado en la construcción puede ser más económico en términos de costo inicial en comparación con el cristal acrílico PMMA. El vidrio es un material ampliamente producido y utilizado en la industria de la construcción, lo que puede contribuir a su disponibilidad y precios competitivos. Por otro lado, el cristal acrílico PMMA puede ser más costoso que el vidrio debido a su proceso de fabricación, las materias primas utilizadas y otras consideraciones técnicas. La diferencia de precio puede variar, pero se estima que el PMMA puede ser de aproximadamente un 10% a un 50% más caro en comparación con el vidrio, dependiendo de las circunstancias específicas.

4.3.5. Plastic bricks - Ecoladrillos

Los "plastic bricks" o "eco-bricks" son una forma de reutilizar y reciclar los residuos plásticos para crear bloques de construcción. Consisten en llenar botellas de plástico vacías y compactarlas con residuos plásticos no biodegradables, como envoltorios, bolsas, tapas, etc. La idea detrás de los eco-bricks es convertir los desechos plásticos en un material de construcción que puede utilizarse en diversas aplicaciones.

Los plastic bricks se crean siguiendo un proceso simple. Primero, se recolectan botellas de plástico vacías y se llenan con residuos plásticos limpios y secos. Luego, se compactan los residuos dentro de las botellas utilizando un palo o una barra para asegurar que estén firmemente comprimidos. Una vez que la botella está completamente llena y compactada, se sella herméticamente con una tapa.



Ilustración 20: Plastic bricks

La utilización de plastic bricks puede tener beneficios medioambientales, ya que ayuda a reducir la cantidad de plástico que termina en los vertederos o en el medio ambiente. Además, puede proporcionar una solución creativa y económica para la construcción, especialmente en comunidades donde los recursos son limitados.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que los plastic bricks no son adecuados para todas las aplicaciones de construcción y no cumplen con los estándares de construcción convencionales en términos de resistencia y durabilidad.

4.3.6. Materiales reciclables en la industria de la construcción

Utilizar materiales reciclables en la construcción se destaca como una elección más sostenible desde una perspectiva medioambiental. Reducir la extracción de recursos naturales para la fabricación de nuevos materiales contribuye a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la

producción. Además, la preferencia por materiales reciclables facilita la reducción de residuos y promueve la economía circular, fomentando la reutilización.

A pesar de que los materiales reciclables pueden resultar más costosos inicialmente, ofrecen ventajas en términos de sostenibilidad ambiental y responsabilidad social. En contraste, los materiales tradicionales como el hormigón, acero o vidrio consumen grandes cantidades de energía a lo largo de su ciclo de vida, generando emisiones significativas de CO₂ y agotando recursos hídricos durante su producción.

Es crucial reconocer los avances en el desarrollo de materiales sustentables, algunos incluso con impacto ambiental negativo nulo o incluso carbono negativo. Aunque aún no son ampliamente utilizados, se espera que ganen prominencia en la industria de la construcción en los próximos años para combatir la contaminación.

Para lograr una construcción más sostenible, es esencial cerrar la brecha de desinformación sobre los materiales disponibles y alentar a empresas y particulares a evaluar cuidadosamente los impactos medioambientales en sus proyectos de construcción.

4.4. Eficiencia del agua- Agua

El crecimiento continuado de la población del planeta (9.500 millones de personas en 2050) (ONU, 2013), la pobreza hídrica, el aumento progresivo del consumo del agua (se ha triplicado en el siglo XX), la mala gestión de esta, y la existencia de instalaciones y grandes infraestructuras deficientes y obsoletas, pueden ser las causas del problema del agua a nivel mundial. La concienciación social y política respecto del uso responsable del agua, junto a los avances en tecnología enfocados al consumo y saneamiento eficiente pueden ser soluciones efectivas, tanto a nivel urbano como doméstico. Los

usuarios de los edificios consumen agua y generan residuales. Existen estrategias verdes, para el ahorro y la eficiencia en el uso del agua, que se pueden aplicar en el diseño y mantenimiento de los edificios.

Se detallan artefactos sanitarios que ayudan a disminuir el consumo de agua:

- Inodoros de doble descarga: Estos inodoros tienen dos opciones de descarga, una para residuos líquidos y otra para residuos sólidos, lo que permite ahorrar agua en cada descarga.
- Regadores de agua para duchas y grifos: Este artefacto limita la cantidad de agua que fluye a través de la ducha o el grifo, controlando el flujo de agua dentro de una cantidad determinada.
- Grifos de bajo flujo: Estos grifos reducen la cantidad de agua que fluye a través de ellos, ahorrando agua en el uso diario.
- Cisternas de inodoros con interrupción: Estas cisternas interrumpen el flujo de agua cuando se alcanza el nivel máximo, impidiendo el desperdicio de agua.
- Monitores de fugas de agua: Estos artefactos pueden detectar fugas en tuberías o grifos, ayudando a reducir el consumo de agua.

La adquisición de artefactos sanitarios eficientes en el consumo de agua puede generar ahorros significativos en proyectos habitacionales. Estos dispositivos, como cabezales de duchas eficientes y griferías ecológicas, emplean una menor cantidad de agua en comparación con sus contrapartes tradicionales. Además, la implementación de dispositivos economizadores en edificios públicos y viviendas puede contribuir a un ahorro sustancial, llegando hasta un 50% en algunos casos (UNCiencia, 2016).

- **Tecnología:** Los artefactos que ahorran agua suelen tener tecnología avanzada que permite un mejor uso del recurso. Por ejemplo, las lavadoras de carga frontal utilizan menos agua y energía que las lavadoras de carga superior debido a su diseño y tecnología.
- **Costo:** Los artefactos que ahorran agua suelen tener un costo más elevado que los artefactos tradicionales debido a su tecnología avanzada y materiales de alta calidad.
- **Rendimiento:** Los artefactos que ahorran agua pueden tener un rendimiento comparable o superior al de los artefactos tradicionales. Por ejemplo, una ducha de bajo flujo puede proporcionar un flujo de agua adecuado y cómodo para el usuario.

En la zona central, ESVAL realiza el cobro basado en el consumo de metros cúbicos (M3), adjunto la tabla de valores según la última publicación.

AVISO



En conformidad a lo dispuesto en el D.F.L. N° 70 de 1988, del Ministerio de Obras Públicas, y el Decreto MINECON N° 107 del 05 de agosto de 2015, fijasen los valores a los precios de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado, entregados por ESVAL S.A., en las localidades que comprenden los Grupos Tarifarios 1; 2; 3a; 3b, 4, 5 y 6, a contar de los consumos leídos el 12 de enero 2023.

1. Agua Potable y/o Alcantarillado

1.1. Cargo Fijo por cliente (\$/mes)

Cargo	Grupo 1	Grupo 2			Grupo 3a	Grupo 3b	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
		Cuenca Aconcagua	San Isidro, Chepical	Chincolco	Petorca y Cabildo	La Ligua y Placilla la Ligua			
Cargo Fijo	1.512	1.512	1.512	1.512	1.512	1.512	1.512	1.512	1.512

1.2. Cargos variables por metro cúbico (\$ / m3)

1.2.1. Período No Punta (lecturas del 01 de abril al 30 de noviembre)

Cargo	Grupo 1	Grupo 2			Grupo 3a	Grupo 3b	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
		Cuenca Aconcagua	San Isidro, Chepical	Chincolco	Petorca y Cabildo	La Ligua y Placilla la Ligua			
Agua Potable	1.188,01	881,54	881,54	881,54	1.016,11	1.106,96	1.032,83	1.055,33	1.923,20
Alcantarillado	797,10	956,98	0,00	535,29	1.147,66	1.147,66	1.136,24	831,91	1.103,54

1.2.2. Período Punta (lecturas del 01 de diciembre al 31 de marzo)

Cargo	Grupo 1	Grupo 2			Grupo 3a	Grupo 3b	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
		Cuenca Aconcagua	San Isidro, Chepical	Chincolco	Petorca y Cabildo	La Ligua y Placilla la Ligua			
Agua Potable	1.174,70	870,14	870,14	870,14	1.008,10	1.095,21	1.022,50	1.046,85	1.907,93
Alcantarillado	797,10	956,98	0,00	535,29	1.147,66	1.147,66	1.136,24	831,91	1.103,54
Sobreconsumo Agua Potable	2.515,91	1.915,13	1.915,13	1.915,13	1.884,27	2.289,03	1.808,52	2.028,34	4.885,35
Sobreconsumo Alcantarillado	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	2.132,29	1.818,25	3.010,61

(*) = Las localidades pertenecientes a los Grupos Tarifarios 1, 2 y 3a y 3b no están afectas a la aplicación de sobreconsumo por alcantarillado.
En las localidades de San Isidro y Chepical no hay sistema de Recolección.

Tabla 21: Consumo ESVAL

4.4.1. Artefactos:

Lavaplatos y lavamanos:

	Estándar			Eficiente			
Lavaplatos	9	-	12	8	-	10	lt/min
Lavamanos	9	-	12	8	-	10	lt/min

Tabla 22: Consumo Lavaplatos y lavamanos.

La grifería destinada para lavamanos y lavaplatos comparte semejanzas tanto en términos de consumo como en su diseño, sin embargo, se distingue por sus funciones estéticas. Dos opciones son la grifería monomando y monoblock, las cuales facilitan una mezcla eficaz de agua caliente y fría, limitando el caudal a un rango de 9-12 litros por segundo. En contraste, las llaves individuales tienen la capacidad de duplicar dicho caudal, aunque exhiben una eficiencia inferior en términos de consumo.

Grifería con temporizador:

	Eficiente		
Grifería con temporizador	60		% Ahorro

Tabla 23: Consumo grifería con temporizador

Los temporizadores por lo general se aplican a llaves individuales o monomando. Funcionan a través de un pulsador (presionando) y cortan el flujo del agua en un tiempo determinado (depende del modelo y eventualmente de la regulación). Su utilización en los recintos domésticos es poco habitual y son usados con regularidad en recintos públicos y oficinas para evitar la pérdida de agua por inconsciencia u olvido del usuario.

Grifería con sensores:

	Eficiente		
Grifería con sensor	70	- 80	% Ahorro

Tabla 24: Consumo grifería con sensores.

Funcionan mediante sensores infrarrojos, los que se activan por proximidad, de forma tal que cuando se acercan las manos bajo la llave, esta se activa y cuando estas se sacan de la misma el caudal

se corta de forma instantánea. La desventaja de los mismos es que para su funcionamiento necesitan energía eléctrica o pilas. Otra de las desventajas presentadas por este tipo de dispositivos es que son más delicados, por lo que su limpieza debe realizarse con productos especiales. Esto finalmente deriva en una menor duración debido al desconocimiento de su mantención y limpieza.

Duchas:

	Estándar	Eficiente	
Ducha	22	15	lt/min

Tabla 25: Consumo duchas.

El cuarto de baño tiene un impacto significativo en el consumo global de agua dentro del hogar, representando el 65%. La ducha, como uno de los artefactos comunes en el baño, juega un papel clave en este consumo. Se estima que una ducha promedio de 5 minutos equivale a un gasto de 100 litros de agua, por lo tanto, podemos estimar que por cada minuto que nos duchamos sin cortar el agua se consumen un total de 20 litros (Energy Go, 2021).

En este sentido si se utilizan elementos como los perlizadores o aireadores, se puede reducir el consumo de agua hasta en un 50% dependiendo del modelo. También es posible cambiar el mango, para la ducha existen modelos que logran un ahorro de entre 40% y 65%. En general estos dispositivos basan su ahorro en un mecanismo de vórtice que disminuye el caudal sin que esta pierda intensidad.

La ducha es un componente significativo en el consumo de agua del hogar. Según aproximaciones preliminares, en casas (Chandler, 2022).

Inodoros:

	Estándar	Eficiente	
Inodoros	- 6	3 - 6	lt/descarga

Tabla 26: Consumo inodoros.

Los inodoros se pueden clasificar en 2 tipos, que son:

- a) Con pulsador: más comunes. En este tipo el estanque esta adosado a la taza y la descarga se realiza mediante el uso de un pulsador.
- b) Cisterna elevada: estos funcionan también con gravedad. En este caso el estanque está colocado en altura y la descarga se acciona mediante un tirador.

En relación al consumo de agua, los inodoros de “flujo bajo” o inodoros comunes representan un gasto normal de agua de entre 10 a 15 litros por descarga promedio (dependiendo el diseño) a pesar de esto actualmente se pueden encontrar modelos que utilizan menos de 9 litros, lo que estaría acorde con normativas como la española que fija una capacidad máxima de 9 litros (norma UNE 67-001-88), a pesar de que el criterio de la eficiencia hídrica fija la capacidad máxima del estanque en 6 litros, de acuerdo a varias fuentes consultadas. En Chile actualmente la mayor cantidad de estanques comercializados son de 6 litros lo que resulta un excelente estándar comparado con la realidad española. Esta situación se explica principalmente por la necesidad de los exportadores chilenos de competir en el mercado de Estados Unidos, en donde la norma fija la capacidad de los estanques de los WC en 6 litros.

En adición a lo anterior, se han realizado diversos estudios conducentes a optimizar y minimizar la utilización de agua en los inodoros. Una de estas mejoras dice relación con la incorporación de sistemas de doble descarga que le entregan al usuario la opción de escoger entre 2 volúmenes distintos de descarga de agua (6 – 9 litros o 3 – 4 litros) dependiendo el uso (líquidos o sólidos). Al respecto de acuerdo a lo expresado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, no es posible normalizar estos métodos, ya que según mediciones establecidas la descarga para líquidos no es suficiente para limpiar el inodoro, pudiendo estos generar problemas a la salud.

Algo que se debe tener en cuenta es que estos sistemas están condicionados por el criterio de uso de los usuarios, elemento no menor a la hora de establecer los ahorros, razón por la cual la educación aparece como una componente crucial para lograr maximizar los usos del recurso hídrico.

Urinarios:

	Estándar	Eficiente	
Urinarios	3,8	2	lt/descarga

Tabla 27: Consumo urinarios.

Los urinarios gastan entre 3 y 6 litros de agua por descarga, esto se considera poco eficiente dado que el volumen de agua si bien puede parecer poco significativo, adquiere relevancia si se toma en cuenta que estos aparatos están diseñados para espacios en donde existe un alto tráfico de público (centros comerciales, aeropuertos, restaurantes, entre otros).

En atención a lo anterior se han desarrollado una serie de estudios e innovaciones conducentes a mejorar la eficiencia en el uso del agua. Estas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a) Urinarios que usan agua: La primera implementación que se observa es el cambio de llaves convencionales por un tipo de llaves que cuentan con temporizador, lo que sirve para evitar el despilfarro del agua por olvido. A partir del modelo anterior se logró desarrollar una nueva innovación que tiene que ver con incorporar un sensor que detecta la presencia de un usuario hasta el momento que este se retira del urinario, momento en el cual se acciona automáticamente una descarga.
- b) Urinarios sin agua: Teniendo en cuenta el consumo de agua que se hace por descarga, se ha desarrollado un urinario que no utiliza agua. Este tipo de Urinario funciona con un filtro que contiene un líquido biodegradable (dura alrededor de 7000 usos) que hace inocua la orina, y luego este conducto está conectado a la línea de desagüe al igual que un urinario convencional.

Lavadora:

	Estándar	Eficiente	
Lavadora	130	82	lt/ciclo

Tabla 28: Consumo lavadora.

Según la norma europea por la que se establecen y certifican los criterios ecológicos de estos artefactos (consumo de agua, eficiencia energética, eficiencia de centrifugado, ruido, ahorro de detergente, reciclado) una lavadora eficiente no debería consumir más de 12 litros de agua por kilogramo de ropa en el ciclo normal de algodón a 60°C, lo que equivale a 60 litros por ciclo para una lavadora de 4 kilos de capacidad. En el mercado chileno se pueden encontrar lavadoras eficientes, si bien estas no lo especifican dentro de su publicidad o detalles técnicos a primera vista. La lavadora más eficiente gasta 9,6 litros de agua por kilogramos de ropa, lo que se traduce en un lavado de 82 litros. Una lavadora estándar gasta alrededor de 20 litros por kilogramos de ropa (es promedio), lo que dependiendo de la carga puede variar el ciclo de lavado entre 130 y 200 litros de agua.

Riego y Jardín:

	Estándar	Eficiente	
Riego y Jardín	4,2	0,4	lt/m2

Tabla 29: Consumo riego y jardín.

El Riego de las áreas verdes es una actividad que involucra un alto consumo de agua. En este sentido, la época del año juega un rol muy importante, dado que los jardines presentan requerimientos hídricos diferenciados de acuerdo con la estación. Para el caso de Santiago se estima que en un jardín cubierto de césped debiera oscilar en 6 a 8 litros por m² en verano, disminuyendo proporcionalmente hasta ser casi nula la necesidad de riego en los meses de invierno.

Otro factor de consideración es la evaporación que se produce al regar un jardín, la cual variará dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad, las que también están claramente relacionadas con la estación del año. También es preponderante el tipo de suelo del jardín o la zona de

riego, ya que si esta es arenosa absorberá más agua en desmedro de la vegetación, situación contraria con los suelos arcillosos.

Lo anterior ha motivado a desarrollar distintos sistemas de riego, unos más eficientes que otros.

Entre los sistemas de riego más empleados están:

- a) Riego por aspersión: En este sistema el agua se arroja al área verde en forma de lluvia de pequeñas gotas mediante aspersores, que son dispositivos que deben distribuirse uniformemente en el área a regar. Dependiendo de la superficie de terreno a regar, se utilizarán aspersores (giratorios y de mayor alcance) o difusores (fijos) la eficiencia de este sistema está vinculada a factores tales como localización de los aspersores, número de aspersores, entre otros. (www.agua-dulce.org, Fundación ecología y Desarrollo, 2008)
- b) Riego por goteo: Consiste en un tubo plástico que tiene una pieza interior con orificios aproximadamente cada 40 cm, por los que sale el agua gota a gota. Este método no tiene el problema de la evaporación y disminuye la proliferación de malas hierbas. Exige poca presión de agua y es de fácil implementación. (www.agua-dulce.org, Fundación ecología y Desarrollo, 2008)
- c) Riego por exudación: Se parece a la técnica por goteo, pero en este caso la manguera está provista de muchos poros (orificios más pequeños que en el riego por goteo y a la vez en mayor cantidad), entonces cuando la manguera se llena de agua empieza a “sudar”. Esta técnica permite mayores ahorros de agua. (www.agua-dulce.org, Fundación ecología y Desarrollo, 2008)
- d) Riego automatizado: Cuentan con sensores de lluvia y sensores de humedad, que sirven para minimizar los riegos innecesarios, con el consiguiente aprovechamiento eficiente del recurso.
- e) Jardines Eficientes: Respecto a la eficiencia no sólo podemos establecer la eficiencia de acuerdo a la modalidad de riego, sino que también de acuerdo a las especies que tenemos en el jardín. Un ejemplo claro se deriva de la habitual utilización de césped en la mayoría de los jardines, que

sin duda es una de las coberturas vegetacionales menos eficientes en cuanto a la eficiencia hídrica. Se estima que los caudales necesarios para mantener 1m² de césped son de mínimo 6 litros diarios de agua en verano y 4 en primavera y otoño y prácticamente nulos en invierno (pensando en un clima mediterráneo semiárido, similar al de Santiago). Un jardín eficiente debe considerar especies xerófitas (de climas semiáridos) o autóctonas. Esto se explica porque dichas especies crecen en forma natural en los lugares en donde se localizan, sin necesidad de riego extra y alimentándose de las aguas lluvia.

De lo anterior se desglosa la siguiente tabla de ahorros para la utilización del agua:

	Estándar		Eficiente		Unidad
Lavaplatos	9	12	8	10	lt/min
Lavamanos	9	12	8	10	lt/min
Grifería con temporizador				60	%
Grifería con sensor			70	80	%
Ducha		22		15	lt/min
Inodoros		6	3	6	lt/descarga
Urinaris		3,8		2	lt/descarga
Lavadora		130		82	lt/ciclo
Riego y Jardín		4,2		0,4	lt/m ²

Tabla 30: Resumen de consumos.

Ahora, según las cantidades de la tabla anterior, los ahorros de cada artefacto se detallan en la tabla a continuación:

	Ahorro
Lavaplatos	14%
Lavamanos	14%
Grifería con temporizador	60%
Grifería con sensor	75%
Ducha	32%
Inodoros	25%
Urinaris	47%
Lavadora	37%

Riego y Jardín	90%
----------------	-----

Tabla 31: Tabla de ahorros.

4.4.2. Consumo de Agua en Chile:

El consumo de agua en Chile varía según los diferentes artefactos utilizados en los hogares. A continuación, se presenta una perspectiva general del consumo de agua asociado a algunos artefactos comunes (Sernac, 2003).

Uso	Invierno	Verano
Duchas	250 litros	360 litros
Aseo en Lavatorio	50 litros	60 litros
Descarga en WC	300 litros	300 litros
Preparación comida y lavado de vajilla	80litros	90 litros
Lavado en General	150 litros	185 litros
Riego	5 litros	165 litros
Total diario	835 litros por día	1.150 litros por día
Total Mensual	25.050 litros por mes	34.500 litros por mes

Tabla 32: Consumo por artefacto en Chile

	Ahorro	Incidencia	Ahorro*incidencia
Lavaplatos	14%	9%	1%
Lavamanos	14%	6%	1%
Ducha	32%	31%	10%
Inodoros	25%	30%	8%
Lavadora	37%	17%	6%
Riego y Jardín	90%	9%	8%
		Total ahorro	33%

Tabla 33: Ahorros e incidencias artefactos bajo consumo.

4.4.3. Costos artefactos con eficiencia:

En cuanto a los costos asociados al uso de artefactos de bajo consumo en Chile, la evaluación implica diversas variables dependiendo del artefacto en consideración. No obstante, al analizar la oferta del mercado chileno, podemos derivar valores promedio que arrojan luz sobre la disparidad entre los artefactos sanitarios convencionales y los eficientes en términos de consumo de agua.

Artefacto	Valor convencional	Valor Eficiente	Cantidad/hogar	\$ Total convencional	\$ Total Eficiente
Lavaplatos	\$ 35.813	\$ 70.430	2	\$ 71.627	\$ 140.860
Lavamanos	\$ 19.280	\$ 27.315	2	\$ 38.560	\$ 54.630
Ducha	\$ 11.890	\$ 24.800	2	\$ 23.780	\$ 49.600
Inodoros	\$ 71.465	\$ 181.998	2	\$ 142.930	\$ 363.995
Lavadora	\$ 250.000	\$ 550.000	1	\$ 250.000	\$ 550.000
Riego y Jardín	\$ -	\$ -	1	-	-
				\$ 526.897	\$ 1.159.085
				Porcentaje aumento	120%

Considerando las cantidades promedio de artefactos por hogar y las variaciones de precios, la conclusión a la que llegamos es que, en términos generales, hay un incremento promedio del 120% en el costo de utilización de artefactos sanitarios de bajo consumo de agua.

4.5. Energía y Atmosfera – Energía

La eficiencia energética es una parte integral, si no la clave, en los edificios verdes y sostenibles. Los edificios representan una parte significativa del consumo total de energía en la mayoría de los países, y mejorar su eficiencia energética puede tener un impacto sustancial en la reducción del consumo de recursos y las emisiones de carbono asociadas.

Algunas formas de lograr la eficiencia energética en edificios incluyen:

- Diseño pasivo: Incorporar estrategias de diseño que aprovechen las características naturales del entorno para reducir la necesidad de calefacción, refrigeración o iluminación artificial.

- Aislamiento térmico: Utilizar materiales aislantes de alta calidad en paredes, techos y ventanas para reducir las pérdidas de calor o frío.
- Iluminación eficiente: Implementar sistemas de iluminación LED y sensores para optimizar el uso de luz artificial y reducir el consumo energético.
- Sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) eficientes: Emplear equipos y tecnologías más eficientes para mantener la comodidad térmica en el interior de los edificios.
- Energías renovables: Integrar fuentes de energía renovable, como paneles solares o sistemas de energía eólica, para generar electricidad localmente y disminuir la dependencia de combustibles fósiles.
- Gestión inteligente de la energía: Utilizar tecnologías de automatización y control para optimizar el uso de energía en función de la demanda y las condiciones ambientales.

Es importante destacar que la sostenibilidad en el sector de la construcción abarca múltiples dimensiones, y uno de los desafíos clave es equilibrar los impactos ambientales con los económicos. Aunque algunas tecnologías y prácticas sostenibles pueden implicar costos iniciales más altos, a menudo se traducen en ahorros a largo plazo debido a una menor demanda de energía y menores gastos operativos. Además, la construcción y renovación de edificios sostenibles también pueden generar oportunidades económicas al impulsar la innovación, el empleo y el crecimiento en la industria.

Para lograr la sostenibilidad en los edificios, la alta eficiencia energética debe centrarse en la reducción de los impactos ambientales a través de:

- Evaluación comparativa del rendimiento energético: Esto implica analizar y comparar diferentes tecnologías y sistemas para identificar las opciones más eficientes en términos de consumo energético y reducción de emisiones.

- Medidas de ahorro de energía: Implementación de estrategias y tecnologías que reduzcan el consumo energético, como sistemas de iluminación eficiente, control de climatización, etc.

Los impactos económicos se pueden reducir al lograr el ahorro de costos y reducir el costo operativo (costos duros y blandos) mediante:

- Evaluación del ciclo de vida: Analizar el impacto económico a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, desde su construcción hasta su demolición, para identificar oportunidades de reducción de costos.
- Análisis de costo-beneficio: Evaluar los costos iniciales y los beneficios a largo plazo de la implementación de tecnologías sostenibles para determinar su viabilidad económica.
- Diseño óptimo de sistemas de energía múltiple: Integrar sistemas de generación de energía renovable como fotovoltaica y calentamiento solar de agua, buscando una combinación eficiente que minimice los costos operativos.

4.5.1. Microeconómico y macroeconómico

La eficiencia energética, crucial en la gestión sostenible de recursos, conlleva una serie de beneficios tanto a nivel microeconómico como macroeconómico. En el ámbito microeconómico, su impacto se refleja en la reducción de costos operativos para empresas y hogares, así como en la mejora de la competitividad y rentabilidad individual. Por otro lado, a nivel macroeconómico, la eficiencia energética promueve la estabilidad económica al reducir la dependencia de recursos energéticos externos y mejorar la productividad a nivel nacional. Estos beneficios se traducen en un impacto positivo en la salud financiera de las empresas, así como en un impulso al crecimiento económico.

4.5.1.1. *Microeconómico*

- Valor del activo: El valor de capital de los edificios y equipos aumenta.

- Materiales, mano de obra: Reducción de costes de material y mano de obra.
- Ahorros en inversiones de capital: No se compran equipos nuevos para equilibrar el suministro de energía.
- Ahorros de energía: Ahorro de energía gracias a una mayor eficiencia
- Ahorros en compensación de carbono/impuesto ambiental: Evite pagos de compensación de carbono e impuestos ambientales cumpliendo con estándares de eficiencia
- Productividad: Haga más con los mismos o menores niveles de consumo de energía

4.5.1.2. *Macroeconómico*

- Ingresos: Aumento de ingresos por facturas más bajas
- Productividad de la industria: Aumento de la productividad en todo el sector
- Beneficios Energéticos e Infraestructura: Beneficios para los proveedores de energía debido a la eficiencia y los estándares energéticos, así como a la ayuda gubernamental.
- Precios de la energía Reducción prevista de los precios de la energía debido a la menor demanda de energía
- Presupuestos Públicos: Aumento de los presupuestos públicos para otros proyectos
- Seguridad Energética (compra/venta): Un país importador de energía importa menos energía y un país exportador de energía exporta más energía
- Efecto macroeconómico: Aumento del PIB de un país.

4.5.2. Barreras

Para comprender por qué la eficiencia energética tiene el problema de la invisibilidad como herramienta para abordar los problemas energéticos, es crucial saber qué factores y barreras impiden que la eficiencia energética gane visibilidad (Campbell, 2014).

La tergiversación de los costos, la información desactualizada y las proyecciones de mercado inexactas crean dudas sobre los beneficios de reducción de emisiones de las energías renovables y las medidas de eficiencia energética. Estas barreras e imperfecciones del mercado, junto a la manipulación de políticas pueden impedir que los consumidores y las empresas inviertan en oportunidades de productividad energética. Otros costos económicos que impiden que las personas adopten tecnologías energéticamente eficientes incluyen costos de energía y ofertas de productos mal valorados o entendidos. En un estado energéticamente ineficiente, los subsidios cambiarán el precio de mercado y el mecanismo de la energía y, por lo tanto, provocarán un comportamiento indeseable del consumidor (P.K. Adom, 2018).

Por otra parte, las personas no adoptan tecnologías de eficiencia energética, incluso si esas tecnologías son beneficiosas desde el punto de vista financiero y ambiental (T. Gerarden, 2015). Fowlie llevó a cabo un ensayo controlado aleatorio a gran escala en el sureste de Michigan, y descubrió que la gente ignoraba las oportunidades gratuitas de utilizar sistemas más eficientes desde el punto de vista energético proporcionados por el gobierno a través del WAP (Programa Federal de Asistencia para la Climatización) (M. Fowlie, 2015). Esto llevó a la conclusión de que las personas a menudo adoptan tecnología energéticamente eficiente por razones distintas a los costos monetarios y el ahorro de energía. Para algunas personas, las razones de la resistencia a adoptar medidas de eficiencia energética abarcan desde el tedio burocrático y la dedicación de tiempo y esfuerzo necesarios para solicitar tales beneficios, hasta la incomodidad de tener equipos de construcción de modernización trabajando en sus hogares. Las personas a menudo no adoptan tecnologías más nuevas y más eficientes desde el punto de vista energético porque es posible que la nueva tecnología no tenga los mismos atributos y características que la anterior (A.B. Jaffe, 1994).

4.5.3. Costos de la eficiencia energética

La literatura analiza los costos asociados con la reducción del consumo de energía en edificios, centrándose en componentes individuales en lugar del sistema completo del edificio. Cetiner y Ozkan concluyen que, aunque las fachadas de vidrio dobles son más eficientes energéticamente, no son tan rentables como las fachadas simples más eficientes en términos de costos (I. Cetiner, 2005). Sekhar y Toon encuentran que las ventanas reflectantes de doble panel son rentables a lo largo del ciclo de vida de un edificio de 20 pisos (S. Sekhar, 1998). Carter y Keeler determinan que los techos verdes aumentan los costos netos entre un 10% y un 14%, requiriendo una reducción del 20% en los costos de construcción para ser rentables (T. Carter, 2008). Praditsmanont y Chungpaibulpatana encuentran que el aumento del espesor del aislamiento tiene un período de recuperación de tres a cinco años (A. Praditsmanont, 2008). Levinson y Akbari muestran que los techos fríos ahorran \$0,356/m² anualmente en EE. UU., con variaciones regionales (R. Levinson, 2009). Por otro lado, Consol sugiere que diseñar edificios para superar los estándares de eficiencia energética no es rentable, pero este estudio tiene limitaciones al considerar solo un diseño prototípico (Consol, 2008). La literatura presenta resultados mixtos, posiblemente debido a la falta de un enfoque de diseño integrado.

Los costos de construcción prototípica y ensamblaje de componentes se derivan de la base de datos en línea RS Means CostWorks, que proporciona costos predeterminados para cada tipo de edificio y componente. RS Means CostWorks se utiliza para adaptar los edificios prototípicos a tres diseños de eficiencia energética: ASHRAE 90.1-2004, ASHRAE 90.1-2007 y un Diseño "Low Energy Case" (LEC).

Para cumplir con las normas ASHRAE 90.1-2004 y ASHRAE 90.1-2007, se realizan cambios en el aislamiento y las ventanas de los edificios.

- El aislamiento de la cubierta del techo pasa de poliestireno expandido a poliestireno extruido, con espesores de 7,6 a 10,2 cm, según la norma y ubicación.

- En los edificios escolares prototípicos, el aislamiento de la cubierta del techo de poliisocianurato aumenta de 5,1 cm a 6,4 a 7,6 cm, dependiendo de la norma y ubicación.
- Se emplea aislamiento de manta de fibra de vidrio en las cavidades de las paredes, con valores R que varían de 11,0 a 18,9 según la ubicación. Si el aislamiento de la manta no cumple con el valor R requerido, se añade aislamiento rígido de poliisocianurato en el exterior de la pared, con espesores de 1,3 cm o 1,9 cm.
- Las ventanas se modifican en tres aspectos: número de paneles, revestimientos de baja emisividad (low-e) y películas de control solar.
- Se utilizan cinco combinaciones diferentes de estas características para estimar costos: (1) panel simple, (2) panel simple con control de ganancia de calor solar, (3) panel doble, (4) panel doble con control de ganancia de calor solar, y (5) doble panel con control de ganancia de calor solar y revestimiento de baja emisividad.
- En algunos casos, ventanas de un solo panel se reemplazan por ventanas de doble panel.
- Se estima que los revestimientos de baja emisividad añaden un 15 % adicional a los costos de materiales de las ventanas, mientras que las películas de control de ganancia de calor solar agregan un 10 % adicional a los costos de materiales de las ventanas.

El diseño LEC mejora la eficiencia térmica con aislamiento adicional y características de ventana.

- Los nuevos estándares de aislamiento requieren al menos 1,3 cm de aislamiento rígido de poliisocianurato en las paredes exteriores, superando ASHRAE 90.1-2007.
- El aislamiento del techo aumenta al menos R-5 para un total de R-20 a R-35.
- En escuelas, se requieren 7,6 a 12,7 cm de aislamiento rígido de poliisocianurato; otros edificios necesitan 7,6 a 17,8 cm de EPS.

- Se implementan controles de iluminación natural y voladizos para sombreado de ventanas según EnergyPlus.
- La iluminación natural tiene un costo de \$28,17/m² y los voladizos de \$133,01/m², excluyendo las zonas climáticas más frías.

Los tres diseños introducen cambios en las cargas de calefacción y refrigeración, lo que impacta directamente en el tamaño óptimo del sistema HVAC. El análisis de Kneifel se apoya en simulaciones energéticas para calibrar automáticamente dicho sistema, identificando el tamaño más reducido que aún satisface los requisitos de ventilación. Esta estrategia permite la selección de sistemas HVAC más pequeños, lo cual conlleva a menores costos de adquisición e instalación. Además, esta economía inicial puede compensar los posibles desembolsos adicionales asociados con la implementación de medidas destinadas a mejorar la eficiencia energética del edificio.

4.5.4. Beneficios económicos de la eficiencia energética

Los beneficios financieros de las mejoras en la eficiencia energética están influenciados por el período de estudio, clima local y tipo de edificio. Un período de estudio más largo se correlaciona con mayores ahorros de energía y menores costos del ciclo de vida para edificios más eficientes energéticamente. Por otro lado, el clima local afecta la integración efectiva de mejoras en la eficiencia energética y los ahorros resultantes. En último lugar, la eficiencia energética varía según el tipo de edificio debido a las diferencias de diseño, como la cantidad de pisos, ventanas y cargas de proceso.

En un análisis realizado por Kneifel, los resultados muestran que las tecnologías convencionales de eficiencia energética, como el aislamiento térmico, las ventanas de baja emisividad, los aleros de las ventanas y los controles de iluminación natural se pueden utilizar para reducir el uso de energía en los nuevos edificios comerciales entre un 20% y un 30% en promedio y hasta más del 40%. % para algunos tipos de edificios y ubicaciones (Kneifel, 2010). Aunque el aumento de la eficiencia energética

generalmente aumenta los costos iniciales de un edificio, el ahorro de energía durante la vida útil del edificio a menudo compensa estos costos iniciales más altos. Los primeros costos pueden ser más bajos para el diseño de edificios más eficiente porque, a través del diseño integrado, la eficiencia mejorada reduce el tamaño del sistema de calefacción y/o refrigeración necesario para satisfacer las cargas máximas de calefacción y/o refrigeración.

La investigación en literatura sobre el análisis de edificios con certificación LEED revela vínculos complejos entre el uso de energía, el desempeño ambiental y el costo del ciclo de vida. Newsham señala que, en promedio, los edificios con certificación LEED logran ahorros de energía significativos, oscilando entre el 18% y el 39%. Sin embargo, existe una variabilidad considerable entre edificios individuales, con un porcentaje notable (entre el 28% y el 35%) de edificios LEED que en realidad consumen más energía por pie cuadrado que los edificios comparables sin certificación (G. Newsham, 2009). Esta disparidad sugiere que el nivel de certificación no siempre refleja una mayor eficiencia energética, evidenciando una desconexión entre el desempeño ambiental y el consumo de energía. Por otro lado, Paumgartten descubre que los beneficios financieros de la certificación LEED se manifiestan en el largo plazo, demostrando que los edificios construidos conforme a estos estándares pueden generar ahorros significativos que superan ampliamente sus costos iniciales. De acuerdo con el análisis, estos beneficios pueden alcanzar hasta un 250% de los costos iniciales del edificio a lo largo de un ciclo de vida útil de 40 años. Este ahorro se deriva de la eficiencia energética, el uso racional del agua y otros recursos naturales, así como de una gestión más sostenible del edificio en general, lo que muestra el valor económico y ambiental de la certificación LEED en la construcción de edificaciones sostenibles (Paumgartten, 2003).

4.5.5. TIR

El estudio de Kneifel evalúa el impacto de las inversiones en eficiencia energética en los edificios, destacando la importancia de considerar el TIR para comparar con otras opciones de inversión. Se observa que ciertos tipos de edificios y ubicaciones muestran un TIR infinito para el diseño LEC, ya que los costos iniciales disminuyen y los ahorros de energía superan los costos adicionales. Esto implica un sólido argumento económico para la mejora de la eficiencia energética, incluso a corto plazo. A lo largo de diferentes períodos de estudio, se observa una disminución en los TIR negativos, lo que indica una menor cantidad de combinaciones de tipo de edificio y ubicación con retornos de inversión negativos. Además, se destaca que cuanto más largo sea el período de estudio, más rentables serán los diseños de eficiencia energética debido a los ahorros continuos de energía y los costos de mantenimiento relativamente bajos. En general, se concluye que la mayoría de las combinaciones de tipo-ubicación de edificio muestran AIRR superiores al 3%, lo que sugiere un rendimiento significativo de las inversiones en eficiencia energética.

4.5.6. Programas de eficiencia energética

Los programas de eficiencia energética a menudo cuestan menos que el desarrollo de nuevos sistemas de generación, reducen las facturas mensuales, reducen el costo total del suministro de energía, alivian la necesidad de nuevos sistemas de transmisión y distribución, reducen el precio de la energía en el mercado y aportan adicionalmente ahorros en todo el sistema (Hill, 2015). Además, una mayor eficiencia energética puede generar ahorros de combustible, nuevas perspectivas laborales, crecimiento económico y reducción de riesgos. La eficiencia también reduce los peligros de la volatilidad de los precios del combustible, las regulaciones estrictas y la escasez, aumentando así la seguridad energética de un país. A nivel microeconómico, el valor de los activos de un edificio o un equipo puede fluctuar dependiendo del nivel de eficiencia y del tipo de modernización utilizada. Los costos de

materiales y mano de obra que afectan dichos desarrollos están influenciados por factores de mercado que influyen en el precio de la energía a medida que aumenta la competitividad en el ámbito de la eficiencia. La mano de obra incluye los costos asociados con la cantidad de “mano de obra calificada” necesaria para implementar el programa de eficiencia, lo que puede conducir a una disminución de la tasa de desempleo.

El uso de equipos en niveles óptimos y eficientes requiere un mantenimiento constante y, por tanto, capital. Estas medidas a menudo conducen a ahorros en inversiones de capital, ya que son bajas en comparación con los grandes costes operativos y de capital necesarios para los nuevos proyectos energéticos. Worrell utilizó curvas de oferta de conservación para evaluar cómo la eficiencia energética afecta la productividad en la industria del hierro y el acero. Su análisis reveló que eliminar estos beneficios reduciría el ahorro de energía a la mitad, disminuyendo de 3,8 GJ/t a 1,9 GJ/t para el acero. Esta reducción implicaría una pérdida potencial de 170 PJ de ahorro energético (E. Worrell, 2003). Maio encontró ahorros de energía en edificios de aproximadamente 360 millones de euros y más de 11 TWh de energía para Finlandia (J. Maio, 2012).

En Ohio, EE. UU., el gobierno podría satisfacer hasta el 29 % de la demanda de energía mediante medidas rentables de eficiencia energética para 2028 (C. Roberto, 2013). Las industrias pueden compartir recursos energéticos, tecnologías eficientes e insumos y productos entre sí para mejorar la productividad industrial. Esto se puede ver en Dinamarca, donde se han combinado plantas de cemento, farmacéuticas y de cogeneración para formar un parque eco industrial. Con la ayuda de la cogeneración, se estima que Estados Unidos y Europa pueden ahorrar aproximadamente 150 MtCO₂ (Lemar, 2001) y 334 MtCO₂ (Beer, 2001) respectivamente. El Laboratorio Nacional Lawrence Berkley encontró que el costo total ahorrado de electricidad a través de programas de eficiencia energética en 20 estados de EE. UU. osciló entre 29 \$/MWh y 79 \$/MWh, con un promedio de 46 \$/MWh, lo que es inferior a la mitad

del precio de la energía minorista y al coste nivelado de las nuevas opciones de suministro (I.M. Hoffman, 2015). Llevando las cifras al presente año, en Estados Unidos el valor de la electricidad depende del estado y del tipo de usuario (hogar o negocio), pero en promedio podemos acordar un valor de 0,147 \$/KWh (Global Petrol Prices, 2024)., el cual comparado con los \$0.046 \$/KWh de ahorro según el estudio de Lawrence Berkley, el ahorro promedio de electricidad alcanza un 68,71%.

4.5.7. Costos de programas de eficiencia energética

Rosenow afirmó que los programas de Obligaciones de Eficiencia Energética en Europa tienen costos de programa monetarios, costos sociales, costos administrativos y costos de puesta en marcha (J. Rosenow, 2017).

Morrissey también comenta el dilema del tiempo, donde las políticas ambientales enfrentan costos a corto plazo, pero beneficios a largo plazo (J. Morrissey, 2013). Las industrias y empresas comerciales con un alto volumen de negocios a menudo no logran aprovechar todo el potencial de eficiencia debido a los largos períodos de recuperación de la inversión. En algunos casos, aunque la tecnología puede ser más eficiente y rentable en promedio, el caso puede no ser el mismo para individuos y empresas. Además, las inversiones en materiales y mano de obra para la eficiencia térmica son en la mayoría de los casos inicialmente negativas y, con el tiempo, se vuelven positivas a través de los ahorros operativos y energéticos asociados (H.F. Campbell, 2003). Además, las personas y las empresas pueden tener dificultades para adaptarse a los cambios, los costos asociados y el aprendizaje necesario para operar los sistemas más nuevos. Los propietarios a menudo ignoran los sistemas más eficientes, ya que tales sistemas requieren una inversión de capital que no es directamente beneficiosa para el negocio del propietario en el corto plazo.

Puede parecer que los costes medioambientales asociados a la eficiencia energética siempre tendrían un efecto positivo. Sin embargo, si se profundiza en el tema, parecería que una mayor

eficiencia energética puede crear barreras para la reducción de emisiones. Si se satisfacen las demandas de energía y la sociedad es más eficiente energéticamente en lo que respecta a la demanda, habrá pocas razones para que los gobiernos (especialmente en los países en desarrollo) cambien a fuentes más ecológicas. La eficiencia en el suministro de energía también puede crear barreras, ya que es probable que los precios bajen, creando una barrera de mercado para las tecnologías verdes, que normalmente tienen un precio más alto.

4.6. Calidad de ambiente interior

La calidad del aire interior (CAI) sigue siendo un aspecto crucial, pero a menudo pasado por alto en los entornos laborales, a pesar de la abrumadora evidencia que respalda su impacto directo en los costos y la productividad de los empleados. Diversos estudios y expertos coinciden en que la CAI es un factor crítico para el bienestar y rendimiento laboral. A continuación, se resumen las razones clave por las cuales la atención a la calidad del aire es vital en los negocios:

- **Impacto en Costos y Productividad:** La evidencia muestra que la CAI afecta significativamente tanto los costos operativos como la productividad de los empleados.
- **Foco en el Bienestar Laboral:** Con el reconocimiento de que el personal representa una parte significativa de los costos operativos, la inversión en un ambiente laboral saludable, incluida la calidad del aire, se vuelve esencial.
- **Inversiones Tradicionales vs. CAI:** Aunque las empresas han invertido en aspectos como tecnología y comodidades para empleados, la CAI a menudo es pasada por alto a pesar de su papel fundamental en la salud y felicidad de la fuerza laboral.

La atención a la CAI no solo contribuye a un ambiente laboral más saludable, sino que también puede resultar en una fuerza laboral más feliz y productiva, respaldando así el éxito a largo plazo de las empresas.

4.6.1. Importancia del CAI

El problema con el aire interior es que está de 2 a 10 veces más contaminado que el aire exterior. Los contaminantes al aire libre ingresan a un edificio a través de puertas abiertas, ventanas, grietas en los cimientos y también se transportan dentro en zapatos y ropa. Una vez dentro, estos contaminantes no pueden escapar y se recirculan a través del sistema de ventilación (HVAC). Esto crea mala calidad del aire, y en muchos lugares el flujo del aire deja mucho que desear. Esto provoca que este aire sucio no puede ser remplazado por aire fresco.



Además de los contaminantes exteriores entrantes, los ambientes interiores crean su propio conjunto de contaminantes. Las fuentes directas de contaminación del aire interior incluyen:

- Fuentes biológicas como virus y bacterias liberados en el aire a través de exhalaciones o tos o moho y hongos que se acumulan en los sistemas de drenaje y aislamiento
- Partículas en el aire, como polvo de tela y fibras o caspa de personas o animales

- Compuestos orgánicos volátiles (COV) o contaminantes químicos que provienen de productos interiores como los humos de las soluciones de limpieza o las emisiones de los equipos de oficina

La mala CAI es tan preocupante que ahora tiene una enfermedad específica relacionada con ella. El "síndrome del edificio enfermo" causa síntomas como dolores de cabeza, tos, fiebre, mareos, náuseas, aumento de los ataques de asma y síntomas similares a los de las alergias. Es difícil diferenciar los síntomas del síndrome del edificio enfermo de un resfriado o gripe, por lo que los empleados a menudo ausentan del trabajo para sentirse mejor. No se dan cuenta de que los síntomas volverán tan pronto como regresen al edificio.

Además de los diversos problemas de salud que se sabe que son causados por una CAI deficiente, existe evidencia abrumadora que demuestra que la calidad del aire en un edificio afecta el costo y la productividad de los empleados.

4.6.2. ¿Cómo se mide la calidad del aire en una empresa?

La calidad del aire en una empresa se puede medir a través de una variedad de indicadores, que incluyen la presencia de productos químicos tóxicos y cotidianos, la contaminación del aire exterior, el filtrado del aire, el sistema de ventilación y la calidad del aire acondicionado.

Uno de los métodos más efectivos para mejorar la calidad del aire en una empresa es mediante el uso de filtros de aire. Estos filtros de aire son capaces de atrapar y eliminar partículas dañinas en el aire, como polvo, polen, bacterias, virus y otros contaminantes. Así en la salud como en el ámbito laboral, pueden estar tranquilos los empleados que se han eliminado riesgos potenciales.

Otro aspecto importante es el uso de productos químicos, que pueden afectar la calidad del aire dentro de un edificio comercial. Es importante controlar el uso de estos productos y asegurarse de que

se estén utilizando de manera segura y adecuada para evitar la contaminación del aire. Es importante seguir el protocolo que proponga la autoridad encargada de los estándares de calidad de aire para asegurarse de evitar químicos riesgosos.

4.6.3. El RDI de la calidad del aire interior

El ausentismo laboral de los empleados también representa un costo financiero considerable para las empresas en Chile. Según datos locales, en los últimos 12 meses se registró un aumento en el ausentismo por enfermedades, alcanzando un índice del 5,27%, con una duración promedio de 10,4 días por trabajador. Este incremento implica un costo estimado para las empresas chilenas de hasta US\$ 280 millones (El Mercurio, 2018).

La tasa de incapacidad en el sector industrial llega a 7,1 días, con una tasa de frecuencia de 0,6 licencias médicas anuales y una tasa de severidad de 12,9 (Rev Méd Chile, 2004). Estos números reflejan el impacto significativo que el ausentismo tiene en la productividad y los costos operativos de las empresas en Chile.

Enfrentar eficazmente las enfermedades y molestias relacionadas con la incapacidad laboral puede resultar en ahorros sustanciales. La implementación de estrategias para mejorar la salud laboral y reducir el ausentismo se vuelve crucial para mitigar los costos asociados y mejorar la eficiencia empresarial.

Un estudio canadiense encontró que casi un tercio del tiempo de enfermedad de los empleados se atribuye a síntomas causados o agravados por una CAI deficiente (Charles K.E, 2004). Esto está respaldado por un estudio que proviene de Massachusetts, donde se observó un 35% menos de bajas por enfermedad en oficinas con buena Calidad del Aire Interior (CAI) en comparación con aquellas con CAI deficiente. Este estudio sugiere que las empresas que mantienen un entorno con aire de mejor

calidad experimentan un ahorro de costos significativo, estimado en \$400 por empleado por año debido a la reducción de ausentismo y enfermedades relacionadas con la calidad del aire (D K Milton, 2000).

4.6.4. Productividad de los empleados

Uno de los estudios más interesantes sobre el efecto de la CAI en los empleados ocurrió en 2009 en una empresa de Michigan. Este estudio comparó a los empleados antes y después de un cambio de una oficina convencional a una con CAI controlada y mejorada. Después de la mudanza, este negocio notó una disminución del 50% en el asma, las alergias y la depresión auto informadas o el ausentismo relacionado con el estrés. El ausentismo anual se redujo de 72 a 120 horas (Amanjeet Singh, 2010). Esto significa que los empleados podían trabajar hasta tres semanas al año más de lo que lo hacían anteriormente, lo que tuvo un impacto dramático en la productividad empresarial.

Si los empleados son la principal fuente de costos para una empresa, tiene sentido que cualquier inversión que pueda aumentar el rendimiento de los empleados se pague por sí misma en dividendos. Las empresas exitosas saben que una fuerza laboral saludable y comprometida es un componente esencial de su rentabilidad. Se ha demostrado una y otra vez que CAI mejora el rendimiento y la productividad de los empleados.

Un metaanálisis de 24 estudios encontró que una CAI deficiente redujo el rendimiento hasta en un 10% en mediciones como la velocidad de escritura y la salida de la unidad (P.Wargorcki (ed.), 2006). Un análisis exhaustivo realizado por Carnegie Mellon mostró ganancias de productividad del 3 al 18% cuando se mejoró la calidad artificial (Mellon, 2004).

Un estudio realizado por la Universidad de Harvard examinó cómo mejorar la CAI de la oficina puede afectar el uso de la información, la amplitud del enfoque, la estrategia y la respuesta a la crisis en los empleados, todos los marcadores de un empleado productivo. Descubrieron que mejorar la CAI

aumentaba el rendimiento de los trabajadores en un 8%, equivalente a un aumento de \$ 6,500 en la productividad cada año (Piers MacNaughton, 2015)

Cuando se tuvieron en cuenta los costos de mejorar el CAI, la mejora del CAI produjo un ROI del 160% basado solo en la productividad del trabajador. Esto está en línea con los datos de Carnegie Mellon que sugieren un ROI promedio de CAI mejorado de al menos 120% (P.Wargorcki (ed.), 2006).

5. Conclusiones

Por su propia naturaleza, la información recopilada no proviene de una muestra representativa para cada tipo de edificio con las infinitas combinaciones que existen. A pesar de esta limitación, los resultados pueden ayudar a informar futuros análisis, encuestas y debates sobre los beneficios y costos económicos que generan los atributos de las certificaciones para la construcción en Chile.

La aplicación de certificaciones está demostrada, ya que ha habido un aumento explosivo en proyectos que buscan certificarse y una gran cantidad de profesionales acreditados en este campo.

La implementación del proceso integral en proyectos de construcción conlleva una serie de costos, que incluyen la inversión inicial en capacitación del equipo, contratación de profesionales especializados, adquisición de tecnologías necesarias y el tiempo adicional requerido en fases de planificación y diseño. Estos costos representan una inversión considerable no solo para una obra en concreto, sino que se mira a nivel ya empresa, pero que al ser comparada con otro de sistema (CAD), dicho costo se reduce considerablemente, incluso, dependiendo de la configuración que se seleccionó, existirían ahorros si se opta por la gestión integrada a través de la metodología BIM.

Además, los beneficios son significativos. Entre ellos se destacan la optimización de la rentabilidad al prevenir gastos adicionales por falta de coordinación, la reducción de costos al identificar y corregir problemas antes de la construcción, la mejora en eficiencia y productividad mediante una mejor comunicación entre equipos y la garantía de mayor calidad en el proyecto al tomar decisiones más informadas.

Los costos relacionados con la Localización y Transporte en proyectos de construcción son variables y dependen de las estrategias específicas empleadas. Estos costos abarcan la adquisición de terrenos y los esfuerzos de diseño y planificación. La selección de un terreno adecuado conlleva costos

iniciales más elevados, mientras que la implementación de estrategias de transporte alternativo y la integración de servicios cercanos pueden aumentar los costos de diseño y planificación.

Por otro lado, los beneficios asociados con este enfoque son notables. Una ubicación óptima puede mejorar la rentabilidad y el valor a largo plazo de la propiedad. Además, facilita el acceso a servicios esenciales y mejora la calidad de vida de los ocupantes.

En resumen, aunque la implementación del atributo de Localización y Transporte implica costos iniciales más altos, los beneficios a largo plazo en términos de rentabilidad, valor de la propiedad, accesibilidad y sostenibilidad a veces justifican esta inversión adicional.

En lo que respecta a la gestión de Materiales y Recursos - Residuos en la industria de la construcción, actualmente la utilización de materiales ecológicos presenta limitaciones en cuanto a su seguridad y cumplimiento normativo, mientras que las materias primas utilizables carecen de rentabilidad debido a su elevado costo. Ante esta situación, el enfoque más económica y ambientalmente viable radica en el tratamiento adecuado de los residuos generados durante el proceso constructivo.

El tratamiento de estos residuos implica ciertos costos, especialmente en el transporte hacia instalaciones adecuadas para su reciclaje o eliminación. Aunque en la mayoría de los casos estos costos ya están incluidos en el presupuesto de la obra, dado que se contempla un botadero autorizado, el cambio hacia instalaciones de reciclaje no representa un aumento significativo en los costos. Sin embargo, es importante considerar que la implementación de prácticas de gestión de residuos requiere tiempo adicional, debido a tareas como la separación y clasificación de materiales, así como la coordinación eficiente de su recolección y transporte.

La implementación de estrategias de eficiencia del agua en la construcción de edificios implica costos iniciales más altos, principalmente debido al precio elevado de los artefactos sanitarios eficientes en el consumo de agua que incorporan tecnología avanzada. Además, se deben considerar los costos asociados con la instalación, la capacitación del personal y el mantenimiento de estos dispositivos.

A pesar de estos costos adicionales, a largo plazo, las medidas de uso eficiente del agua pueden generar beneficios económicos significativos. Entre estos beneficios se incluyen el ahorro en costos de agua y energía, la reducción de gastos de mantenimiento y reparaciones, y el aumento del valor de la propiedad en el mercado inmobiliario, debido a la creciente demanda de edificios sostenibles y eficientes en el uso de recursos.

En resumen, la inversión en el uso eficiente del agua en la construcción y mantenimiento de edificios puede resultar en un retorno económico positivo, además de contribuir a la conservación de recursos y a la sostenibilidad ambiental.

La eficiencia energética en los edificios sostenibles es crucial debido a su impacto en la reducción del consumo de recursos y las emisiones de carbono. La implementación de estrategias como el diseño pasivo, aislamiento térmico, iluminación eficiente, sistemas HVAC eficientes, energías renovables y gestión inteligente de la energía puede conducir a ahorros significativos a largo plazo. Aunque algunas tecnologías y prácticas sostenibles pueden implicar costos iniciales más altos, a menudo se traducen en ahorros a largo plazo debido a una menor demanda de energía y menores gastos operativos. A nivel macroeconómico, la eficiencia energética promueve la estabilidad económica al reducir la dependencia de recursos energéticos externos y mejorar la productividad a nivel nacional, lo que resulta en un impacto positivo en la salud financiera de las empresas y un impulso al crecimiento económico.

La mejora de la Calidad Ambiental Interior (CAI) en entornos laborales conlleva beneficios económicos notables, a pesar de requerir inversiones iniciales. Estas inversiones abarcan la adquisición de sistemas de purificación de aire y otros equipos relacionados. Sin embargo, los beneficios incluyen la reducción de costos operativos, un aumento en la productividad y una mejora en el bienestar laboral, lo que contribuye a la salud financiera de la empresa a corto y largo plazo.

Los costos asociados con la mejora de la CAI incluyen los operativos, de mantenimiento y de formación del personal encargado de operar y mantener los sistemas. Por otro lado, los beneficios se reflejan en la salud y bienestar de los empleados, un aumento en la productividad, la reducción del ausentismo y el cumplimiento normativo.

En resumen, aunque las mejoras en la CAI pueden implicar costos iniciales, los beneficios como la mejora del bienestar de los empleados y el aumento de la productividad pueden justificar esta inversión a largo plazo, contribuyendo al éxito sostenible de la empresa.

La implementación de prácticas integrales, sostenibles y tecnológicas en la industria de la construcción no solo implica costos iniciales, sino que también genera beneficios económicos sustanciales a lo largo del ciclo de vida de los proyectos, contribuyendo a la eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad a largo plazo.

Se sugiere que la implementación de certificaciones en proyectos de construcción no solo contribuye al cambio climático y ofrece beneficios medioambientales y sociales, sino que también es económicamente viable, ya que puede generar retornos y ahorros significativos.

	Fase de diseño		Fase de construcción		Fase de operación		TIR
	Costos	Beneficios	Costos	Beneficios	Costos	Beneficios	
Gestion Integral							
BIM	-6,63%		0,70%				
Localización y Transporte							
Suelo	10%						
Valor del activo					30%		
Materiales y Recursos- Residuos			0%	0%			
Eficiencia del agua							
Consumo de agua			120%		33%		
Energía y Atmosfera							
Eficiencia Energética							3%
Calidad de ambiente interior							
Productividad					8%		

Tabla 34: Resumen costo beneficio atributos.

En promedio, los edificios ecológicos a través de las certificaciones y sus respectivos atributos evaluados pueden ahorrar en promedio un 6,36% en los costos de implementación utilizando metodología BIM en vez de CAD, entre un 1,37% y un 0,61% en los costos de construcción del total del proyecto y un 33% del consumo de agua. Pueden aumentar hasta en un 30% el valor del activo y mejorar la productividad del personal durante la operación hasta en un 8%. Respecto a los costos durante la fase de diseño tenemos el valor del suelo, que puede aumentar el costo total de un proyecto hasta en un 10%, mientras que en la fase de construcción, la utilización de artefactos sanitarios de bajo consumo aumenta en un 120% respecto a artefactos sanitarios convencionales. La eficiencia energética también puede generar retornos de inversión favorables, con programas que muestran TIR superiores al 3%.

En resumen, la implementación de certificaciones en proyectos de construcción no solo contribuye positivamente al cambio climático y ofrece beneficios medioambientales y sociales, sino que también es económicamente viable. Cada uno de los atributos analizados presenta costos iniciales, pero los beneficios económicos a largo plazo, como el aumento de la rentabilidad, la mejora de la eficiencia, la reducción de costos operativos y la generación de retornos financieros, demuestran que la inversión

en certificaciones es una estrategia económicamente rentable. La mejora de la sostenibilidad y la consideración de aspectos ambientales y sociales no solo son éticas sino también estratégicas, ya que pueden traducirse en ventajas competitivas y posicionamiento favorable en el mercado.

La evidencia respalda la conclusión de que la implementación de certificaciones en proyectos de construcción es beneficiosa tanto desde una perspectiva ambiental y social como desde un punto de vista económico. La construcción sostenible no solo es una respuesta responsable a los desafíos ambientales, sino también una estrategia inteligente para la gestión eficiente de recursos y la creación de proyectos inmobiliarios económicamente exitosos.

Bibliografía

- A. Praditsmanont, S. C. (2008). *Performance analysis of the building envelope: a case study of the Main Hall, Shinawatra University*.
- A.B. Jaffe, R. S. (1994). *The energy-efficiency gap. What does it mean?*
- Alarcon, F. y. (2002). *Achieving Lean Design Process: Improvement Methodology*.
- Amanjeet Singh, M. S. (2010). Effects of Green Buildings on Employee Health and Productivity.
- Beer, J. D. (2001). *Economic Evaluation of Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Emission Reductions in Industry in the EU*.
- BloombergNEF. (2018). *New Energy Outlook*.
- C. Roberto, N. D. (2013). *The Costs of Inefficiency: Ignoring Ohio's Energy Efficiency Potential*.
- Calidad Cloud. (2020). Muestra de aproximadamente 1.700 proyectos de edificación en altura, ejecutados o en ejecución, desde 2017.
- Campbell, N. (2014). *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*.
- Cárdenas Real, L. K. (2016). *Análisis del retorno sobre la inversión en el uso de BIM*.
- CCCS. (2021). *Caso de Negocios de LEED en Latinoamérica*.
- CChC. (2017). Congreso de la Innovación en Construcción.
- CChC. (2020). *Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales*.

- CDT. (2021). *Economía Circular y Estrategia en la Construcción: Visión a futuro*. Obtenido de <https://www.cdt.cl/economia-circular-y-estrategia-en-la-construccion-vision-a-futuro/>
- Chandler, W. (2022). *What Uses the Most Water in a House?* Obtenido de <https://dropconnect.com/what-uses-the-most-water-in-a-house/>
- Charles K.E, D. A. (2004). *Practical Advice based on scientific research findings for the design and management of open-plan offices.* .
- Consol. (2008). *Achieving 30% and 50% over ASHRAE 90.1-2004 in a Low-Rise Office Building,*.
- D K Milton, P. M. (2000). *Risk of sick leave associated with outdoor air supply rate, humidification, and occupant complaints.*
- DGA. (2022). *Informe Final Mesa Nacional del Agua.*
- Dodge Data & Analytics. (2015). *Measuring the impact of BIM on complex buildings.*
- E. Worrell, J. L. (2003). *Productivity benefits of industrial energy efficiency measures.*
- El Mercurio. (2018). Ausentismo laboral por enfermedades crece y costo para empresas alcanzaría US\$ 280 mills.
- Energy Go. (2021). *Cuánto se consume de agua en una ducha: cifras y consejos*. Obtenido de <https://blog.energygo.es/cuanto-se-consume-de-agua-en-una-ducha-cifras-y-consejos/>
- G. Newsham, S. M. (2009). *Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but...*
- Global Petrol Prices. (2024). *Global Petrol Prices.* Obtenido de https://es.globalpetrolprices.com/USA/electricity_prices/

- González, K. (2023). *¿Cuál es la rentabilidad de un proyecto inmobiliario y cómo maximizar tus ganancias?* Obtenido de <https://www.parqueavellano.cl/blog/cual-es-la-rentabilidad-de-un-proyecto-inmobiliario/>
- Green Alliance. (2022). *Smart Cities Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Governance, Environmental Solutions, Utilities, Transportation, Healthcare), By Region, And Segment Forecasts, 2020 – 2027.*
- Guillard, E. (2021). *Cómo el Big Data (Macrodatos) impulsa la Eficiencia Energética.* Obtenido de <https://www.dexma.com/es/blog-es/como-el-big-data-macrodatos-impulsa-la-eficiencia-energetica/>
- H.F. Campbell, R. B. (2003). *Benefit–Cost Analysis: Financial and Economic Appraisal Using Spreadsheets.*
- Hill, S. (2015). *Competitiveness of Renewable Energy and Energy Efficiency in U.S. Markets.*
- Holz, M. (2022). *Evolución del Índice de precios de materiales de la construcción.*
- I. Cetiner, E. O. (2005). *An approach for the evaluation of energy and cost efficiency of glass facades.*
- I.E. Agency. (2014). *Capturing The Multiple Benefits of Energy Efficiency.*
- I.M. Hoffman, e. a. (2015). *The total cost of saving electricity through utility customer-funded energy efficiency programs: estimates at the national, state, sector and program level.*
- IEA. (2022). *World Energy Outlook 2022.*
- IEMA. (2020). *Informe del Estado del Medio Ambiente.*
- INE. (2012). *Censo.*
- INGEI. (2018). *Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.*

IPCC. (2007). *Cambio Climático 2007 - Mitigación del Cambio Climático*.

J. Maio, S. Z. (2012). *Energy Efficiency Policies in Buildings - The Use of Financial Instruments at Member State Level*.

J. Morrissey, B. M. (2013). *Cost–benefit assessment of energy efficiency investments: accounting for future resources, savings and risks in the Australian residential sector*.

J. Rosenow, E. B. (2017). *Costs and benefits of energy efficiency obligations: a review of European programmes*.

Kneifel, J. (2010). *Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings*.

Lemar, P. (2001). *The potential impact of policies to promote combined heat and power in US industry*.

Luiz De Brito Mello, W. S. (2021). *Core Elements Underlying Supply Chain Management in the Construction Industry: A Systematic Literature Review*.

M. Fowlie, M. G. (2015). *Are the non-monetary costs of energy efficiency investments large? Understanding low take-up of a free energy efficiency program*.

Mahasenani, N., Smith, S., Humphreys, K., & Kaya, Y. (2003). *The Cement Industry and Global Climate Change: Current and Potential Future Cement Industry CO2 Emissions*.

Martin Perry Associates. (2022). *Advantages and Disadvantages of Ferrock for Building*. Obtenido de <https://mperryassociates.com/2022/11/16/ferrock-for-building/>

Mellon, C. (2004). *Guidelines for High Performance Buildings – Ventilation and Productivity*.

Ministerio de la Vivienda y Urbanismo. (2018). *Estándares de Construcción Sustentables, Tomo V Impacto Ambiental.*

Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Encuesta Nacional de Cambio Climático.*

MINVU. (2018). *Estándares de construcción sustentable para viviendas.*

NBI. (2011). *Green Building Performance Evaluation: Measured Results from LEED-New Construction Buildings.*

OCDE. (2018). *A taxonomy of digital intensive sectors.*

ONU, D. d. (2013). *World Population Prospects: The 2012 Revision, vols. I.*

P.K. Adom, S. A. (2018). *Energy savings in Nigeria. Is there a way of escape from energy inefficiency?*

P.Wargorcki (ed.), O. S.-C. (2006). *Indoor Climate And Productivity In Offices.*

Paumgarten, P. (2003). *The business case for high performance green buildings: sustainability and it financial impacts.*

Piers MacNaughton, J. P. (2015). *Economic, Environmental and Health Implications of Enhanced Ventilation in Office Buildings.*

Planbim. (2019). *Estudio de costos relacionados con la implementación de metodologías BIM.*

PUC, P. U. (2014). *Revista ingeniería de construcción vol.29 no.3.*

R. Levinson, H. A. (2009). *Potential benefits of cool roofs on commercial buildings: conserving energy, saving money, and reducing emission of greenhouse gases and air pollutants, Energy Efficiency .*

Rev Méd Chile. (2004). *30 años de estudio sobre ausentismo laboral en Chile.*

Rodgers, L. (2018). *La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías.*

S. Sekhar, K. T. (1998). *On the study of energy performance and life cycle cost of smart window.*

Saldias Silva, R. O. (2010). *Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM.*

Sernac. (2003). *Consumo de Agua.*

SMITeam. (2023). *Carbon Fiber Cost: Factors That Influence The Most.* Obtenido de <https://www.smicomposites.com/carbon-fiber-cost-factors-that-influence-the-most/>

T. Carter, A. K. (2008). *Life-cycle cost–benefit analysis of extensive vegetated roof systems.*

T. Gerarden, R. N. (2015). *Deconstructing the energy-efficiency gap: conceptual frameworks and evidence.*

UNCiencia. (2016). *Uso eficiente del agua en edificios públicos y de viviendas.*

USGBC. (Julio de 2022). *Leed's Projects.* Obtenido de <https://www.usgbc.org/projects>