



Universidad de Valladolid

Propuesta de metodología integrada basada en PM², Lean Construcción y Certificación LEED para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible

Abraham Mendez Ortiz

MÁSTER EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS
Departamento De Organización De Empresas Y C.I.M.
Universidad De Valladolid
España



INSISOC
SOCIAL SYSTEMS
ENGINEERING CENTRE
2024



Universidad de Valladolid

Propuesta de metodología integrada basada en PM², *Lean Construction* y certificación LEED para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible

Abraham Mendez Ortiz

MÁSTER EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS
Departamento De Organización De Empresas Y C.I.M.
Universidad De Valladolid

Valladolid, Julio 2024

Tutor
Fernando Acebes Senovilla

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia y amigos en México, en parcial compensación por tomarme este tiempo lejos de ellos. Ellos han soportado con paciencia y amor mi ausencia durante este periodo de crecimiento académico y personal. Su apoyo incondicional ha sido el pilar que me ha sostenido a través de la distancia.

A mis profesores del Máster en Dirección de Proyectos de la Universidad de Valladolid, por compartir su valiosa experiencia y conocimientos, ampliando mis horizontes profesionales. Un agradecimiento especial a mi tutor, Fernando Acebes Senovilla, por su guía constante y su dedicación en la supervisión de este trabajo.

A los amigos que he tenido la fortuna de conocer en Valladolid, por hacer de esta experiencia algo inolvidable y por ser mi familia lejos de casa. Su amistad ha enriquecido enormemente mi estancia en España.

Este logro es tan suyo como mío. Gracias por ser parte fundamental de este viaje.

RESUMEN

Este trabajo presenta una metodología integrada para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible, combinando PM², *Lean Construction* y la certificación LEED. La investigación analiza estas metodologías y su aplicabilidad en el sector de la construcción sostenible, identificando sinergias y complementariedades entre ellas. Se desarrolla una propuesta metodológica que integra fases, procesos, roles y responsabilidades adaptados a las necesidades posibles de proyectos habitacionales sostenibles. La metodología incluye artefactos y plantillas para facilitar su implementación práctica. El enfoque busca optimizar la eficiencia, sostenibilidad y calidad en los proyectos de construcción, abordando los desafíos del sector. La propuesta pretende proporcionar un marco de trabajo robusto y flexible que permita a los equipos de proyecto equilibrar las demandas de eficiencia, calidad y sostenibilidad, contribuyendo al avance de la gestión de proyectos de construcción sostenible.

Palabras clave

Construcción sostenible, PM², *Lean Construction*, Certificación LEED, Metodología integrada.

ABSTRACT

This research presents an integrated methodology for managing sustainable residential construction projects, synthesizing PM², Lean Construction, and LEED certification. The study analyzes these methodologies and their applicability in the sustainable construction sector, identifying synergies and complementarities among them. A methodological proposal is developed, integrating phases, processes, roles, and responsibilities tailored to the potential needs of sustainable housing projects. The methodology incorporates artifacts and templates to facilitate its practical implementation. This approach aims to optimize efficiency, sustainability, and quality in construction projects, addressing the sector's challenges. The proposal seeks to provide a robust and flexible framework that enables project teams to balance the demands of efficiency, quality, and sustainability, thus contributing to the advancement of sustainable construction project management.

Keywords

Sustainable construction, PM², Lean Construction, LEED certification, Integrated methodology.

INDICE

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo del Proyecto	1
1.2 Alcance del Proyecto	1
1.3 Motivación del Proyecto	2
1.4 Estructura del Documento	3
Capítulo 2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Metodologías Predictivas/Cascada	5
2.1.1. PMBoK (PMI)	6
2.1.1.1 PMBoK Sexta edición	6
2.1.1.2 PMBoK Séptima edición	9
2.1.2. ICB4 (IPMA)	10
2.1.3. PM ² (PM ² Alliance)	11
2.2 Metodologías Lean	13
2.2.1. <i>Scrum</i>	15
2.2.2. <i>Kanban</i>	16
2.2.3. <i>Lean Construction</i>	18
2.3 Análisis de la sostenibilidad en proyectos de construcción habitacional.....	21
2.3.1. Exploración de estándares de construcción sostenible.....	22
2.3.1.1 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	22
2.3.1.2 BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)	25
2.3.1.3 DGNB (<i>Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen</i>).....	27
2.3.2. Revisión de Proyectos Sostenibles.....	30
2.3.2.1 Casa en Saint-Simeon / Architecture Casa	30
2.3.2.2 Casa DaB / BAM! arquitectura	32
2.3.2.3 Cabaña WUK 01 / ERDC arquitectos	33
Capítulo 3 FUNDAMENTOS Y SELECCIÓN METODOLOGICA	35
3.1 PM ²	35
3.1.1. Fase de Inicio	36
3.1.2. Fase de Planeación	37
3.1.3. Fase de Ejecución	39
3.1.4. Fase de Cierre	40
3.1.5. Actividades de Seguimiento y Control	42
3.2 Herramientas de <i>Lean Construction</i>	43
3.2.1. Value Stream Mapping (VSM)	44
3.2.2. Hoshin Kanri	48

3.2.3. Integrated Project Delivery (IPD).....	53
3.2.4. Last Planner System (LPS).....	56
3.2.5. Takt Planning.....	58
3.2.6. Sistema Pull.....	62
3.2.7. Organigrama por Cadenas de Valor.....	63
3.2.8. Kaizen (PDCA, <i>Plan-Do-Check-Act</i>).....	65
3.2.9. 5S's.....	67
3.2.10. BIM (Building Information Modeling).....	69
3.2.11. Just-In-Time (JIT).....	71
3.2.12. Portafolio de Kraljic.....	72
3.2.13. IQP, <i>Integrated Quality Process</i> (Calidad Integrada en el Proceso).....	75
3.2.14. Poka Yoke.....	77
3.3 Integración de Certificación LEED.....	79
3.3.1. Selección del Sistema de Calificación LEED.....	79
3.3.2. Planificación y Estrategia de Certificación.....	80
3.3.3. Implementación de Requisitos LEED en Diseño y Construcción.....	81
3.3.4. Documentación y Control del Proceso.....	82
3.3.5. Auditorías y Revisión por el USGBC.....	83
3.3.6. Validación y Certificación Final.....	83
3.3.7. Post-Certificación y Mantenimiento.....	84
Capítulo 4 PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA INTEGRADA.....	87
4.1 Descripción General de la Metodología.....	87
4.2 Fases y Procesos de la Metodología Propuesta.....	90
4.3 Roles y Responsabilidades en la Metodología Propuesta.....	95
4.4 Artefactos y Documentación de la Metodología Propuesta.....	99
Capítulo 5 CONCLUSIONES.....	102
5.1 Recomendaciones para el Sector y Líneas de Investigación Futuras.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	105
ANEXOS.....	109
INDICE DE FIGURAS.....	123
INDICE DE TABLAS.....	125

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo del Proyecto

Esta investigación se propone desarrollar una metodología integrada para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible, fundamentada en los principios de PM², *Lean Construction* y la certificación LEED. El enfoque busca optimizar la eficiencia, sostenibilidad y calidad en los proyectos de construcción, abordando los desafíos específicos de este sector en constante evolución.

Para lograr este propósito, se analizarán en profundidad las metodologías PM² y herramientas *Lean Construction*, así como los requisitos de certificación LEED, con el fin de identificar sus características clave y áreas de aplicación en proyectos de construcción sostenible. Este análisis sentará las bases para examinar las sinergias y complementariedades entre estas metodologías, permitiendo establecer un marco integrado que potencie sus fortalezas individuales y mitigue sus limitaciones.

A partir de este análisis, se desarrollará una propuesta metodológica que combine de manera coherente los principios de PM², las herramientas de *Lean Construction* y los criterios de certificación LEED. Esta propuesta no solo integrará conceptos teóricos, sino que también definirá procesos concretos, roles y responsabilidades clave, asegurando una implementación efectiva en proyectos de construcción habitacional sostenible.

Como parte integral de esta metodología, se propondrán y proporcionarán una serie de artefactos y plantillas específicas. Estos recursos tangibles facilitarán la implementación práctica de las herramientas y técnicas propuestas, ofreciendo a los equipos de proyecto un conjunto de instrumentos adaptados para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible. Estos artefactos servirán como guías concretas para la aplicación de los principios metodológicos en las diferentes fases del proyecto.

La metodología propuesta aspira a proporcionar un marco de trabajo robusto y flexible que permita a los equipos de proyecto abordar eficazmente los desafíos de la construcción habitacional sostenible, equilibrando las demandas de eficiencia, calidad y sostenibilidad. Se espera que esta investigación contribuya significativamente al avance del conocimiento en el campo de la gestión de proyectos de construcción sostenible, ofreciendo un enfoque que responda a las crecientes exigencias de responsabilidad ambiental y eficiencia en la industria de la construcción.

1.2 Alcance del Proyecto

El presente estudio se centra en la integración de metodologías de gestión de proyectos para la construcción habitacional sostenible. El alcance abarca el análisis y síntesis de tres enfoques principales: PM², *Lean Construction* y la certificación LEED. Se examinan sus principios, herramientas y técnicas, con el objetivo de desarrollar una propuesta metodológica integrada.

La investigación incluye una revisión de la literatura relacionada con las metodologías mencionadas, así como de los estándares y prácticas de construcción sostenible. Se analizan las características, fortalezas y limitaciones de cada práctica, identificando y seleccionando las áreas de complementariedad y sinergia potencial.

El desarrollo de la propuesta metodológica constituye el núcleo del trabajo. Esta propuesta abarca la definición de procesos, roles y responsabilidades, así como la creación de artefactos y herramientas específicas para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible. Se pone énfasis en la integración coherente de los principios de PM², las técnicas de *Lean Construction* y los criterios de certificación LEED.

Dentro del alcance se incluye la elaboración de un conjunto de plantillas y documentos que faciliten la implementación práctica de la metodología propuesta. Estos recursos se seleccionan y adaptan para apoyar las diferentes fases del ciclo de vida del proyecto, desde la iniciación hasta el cierre.

El presente trabajo no contempla la aplicación práctica de la metodología propuesta en un proyecto específico. Quedan fuera del alcance de este estudio los aspectos técnicos detallados de ingeniería y diseño arquitectónico, así como el análisis financiero profundo de los proyectos de construcción. Tampoco se abordan otros tipos de proyectos de construcción más allá del ámbito habitacional.

1.3 Motivación del Proyecto

La motivación para desarrollar esta propuesta metodológica integrada surge de la creciente necesidad de abordar los desafíos complejos que enfrenta la industria de la construcción habitacional en términos de sostenibilidad, eficiencia y calidad. En un contexto global donde la construcción sostenible se ha convertido en una prioridad, existe una demanda urgente de enfoques que puedan alinear las mejores prácticas de gestión de proyectos con los objetivos de sostenibilidad ambiental.

La integración de PM², *Lean Construction* y la certificación LEED representa una oportunidad para crear una sinergia entre metodologías de gestión eficientes, principios de optimización de procesos y estándares reconocidos de construcción sostenible. Esta combinación promete abordar de manera holística los retos que enfrentan los proyectos de construcción habitacional sostenible, desde la planificación hasta la entrega y operación.

Además, la experiencia profesional en gerencias de construcción ha evidenciado la necesidad de un enfoque más integrado y adaptable para la gestión de proyectos en este sector. Las metodologías tradicionales a menudo resultan insuficientes para manejar la complejidad y las demandas cambiantes de los proyectos de construcción.

Por otro lado, la creciente importancia de las certificaciones de sostenibilidad, como LEED, en el mercado de la construcción, resalta la necesidad de incorporar estos estándares de manera más sistemática en los procesos de gestión de proyectos. Esta integración no solo busca facilitar la obtención de certificaciones, sino también mejorar el desempeño general del proyecto en términos de sostenibilidad y eficiencia.

Finalmente, existe una oportunidad significativa para contribuir al cuerpo de conocimiento en el campo de la gestión de proyectos de construcción sostenible. La propuesta de una metodología integrada que combine PM², *Lean Construction* y LEED puede ofrecer nuevas perspectivas y herramientas para los profesionales del sector, promoviendo prácticas más sostenibles y eficientes en la industria de la construcción.

1.4 Estructura del Documento

El presente trabajo está dividido en cuatro capítulos principales los cuales se han estructurado de manera que guíe al lector a través de un viaje conceptual y metodológico, partiendo desde los fundamentos teóricos hasta llegar a la propuesta de una metodología integrada para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible.

La investigación comienza con el capítulo 1 a forma de introducción, que establece el contexto y la relevancia del estudio. En este apartado, se delimitan los objetivos y el alcance del proyecto, así como las motivaciones que impulsan esta investigación en el campo de la construcción sostenible.

Posteriormente, En el capítulo 2 se desarrolla una revisión de la literatura, que constituye el cimiento teórico de la investigación. Este capítulo explora las diferentes corrientes metodológicas en la gestión de proyectos, desde los enfoques predictivos tradicionales hasta las metodologías ágiles y *lean*. Asimismo, se profundiza en el análisis de la sostenibilidad en el contexto de la construcción habitacional, examinando estándares internacionales y casos de estudio relevantes. Esta revisión no solo proporciona un marco de referencia sólido, sino que también identifica las brechas en el conocimiento actual que este estudio busca abordar.

El capítulo 3 se adentra en los fundamentos específicos de las metodologías y herramientas seleccionadas para la propuesta. Aquí, se analizan más a detalle los principios de PM², las herramientas de *Lean Construction* y los procesos de certificación LEED. Este análisis crítico sienta las bases para la integración metodológica que se propone en el estudio.

El corazón de la investigación se encuentra en el capítulo 4, donde se presenta la metodología integrada propuesta. Este apartado describe la estructura y los procesos de la metodología, también se detallan los roles, las responsabilidades y los artefactos necesarios para su implementación, proporcionando una guía práctica para los profesionales del sector.

Finalmente, el estudio concluye con una síntesis de los hallazgos principales y una reflexión sobre las implicaciones de esta metodología integrada para el futuro de la gestión de proyectos de construcción sostenible. Se discuten las contribuciones teóricas y prácticas del estudio, así como las posibles líneas de investigación futura que se abren a partir de este trabajo.

Para complementar el cuerpo principal del estudio, se incluye una serie de anexos que proporcionan información sobre los artefactos y herramientas propuestas en la metodología integrada. Estos anexos ofrecen plantillas, diagramas y ejemplos concretos de documentos clave como la Solicitud de Inicio de Proyecto y la Matriz X de Hoshin Kanri, entre otros. Diseñados para facilitar la implementación práctica de la metodología en proyectos reales de construcción habitacional sostenible, la intención de estos materiales suplementarios no solo de enriquecer el contenido académico del trabajo, sino que también ofrecen recursos tangibles y adaptables para los profesionales del sector, fortaleciendo así el vínculo entre la investigación teórica y su aplicación en la industria.

Capítulo 2 REVISIÓN DE LITERATURA

En el contexto del presente trabajo, que aborda la aplicación de *Lean Construction* y las metodologías predictivas en la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible, la revisión de literatura se enfoca en dos grandes áreas: las metodologías de gestión de proyectos y el análisis de la sostenibilidad en la construcción habitacional.

En primer lugar, se exploran las metodologías, estándares y normas predictivas o tradicionales, como el PMBoK (*Project Management Body of Knowledge*) desarrollado por el PMI (*Project Management Institute*) (Project Management Institute, 2017, 2021), el ICB4 (*IPMA Competence Baseline*) de la Asociación Internacional de Gestión de Proyectos (IPMA) (IPMA, 2015) y el PM² (*Project Management Methodology*) de la PM² Alliance (Comisión Europea, 2021). Estas metodologías, estándares y normas, ampliamente utilizadas en diversos sectores, incluyendo la construcción, se caracterizan por su enfoque secuencial, documentación detallada y planificación inicial exhaustiva. Se analizarán sus principios, procesos y áreas de conocimiento clave, así como su evolución a lo largo del tiempo, con especial atención a las últimas ediciones del PMBoK y su incorporación de elementos de flexibilidad y adaptabilidad.

Posteriormente, se abordarán las metodologías ágiles y lean, que han surgido como alternativas a los enfoques tradicionales, buscando mayor flexibilidad, colaboración y entrega continua de valor (Project Management Institute, 2017). Se profundizará en metodologías como *Scrum*, *Kanban* y *Lean Construction*, explorando sus principios, roles, eventos y artefactos. Se analizará cómo estas metodologías pueden aportar beneficios en términos de eficiencia, adaptabilidad y mejora continua en el contexto de los proyectos de construcción.

En segundo lugar, se realizará un análisis de la sostenibilidad en la construcción habitacional, examinando los estándares y certificaciones internacionales más relevantes, como LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) (USGBC, 2021), BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) (BRE, 2021) y DGNB (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*) (DGNB, 2021). Se explorarán los criterios y requisitos específicos de cada uno de estos estándares, así como los procesos de certificación y los beneficios asociados a su implementación en proyectos de construcción sostenible.

Además, se revisarán casos de estudio de proyectos de construcción habitacional sostenible a nivel internacional, con el objetivo de identificar buenas prácticas, lecciones aprendidas y desafíos enfrentados en la aplicación de principios de sostenibilidad. Estos casos de estudio proporcionarán ejemplos concretos de cómo la integración de enfoques sostenibles y ágiles puede conducir a resultados exitosos en términos de eficiencia, calidad y satisfacción del cliente.

La revisión de literatura sentará las bases teóricas y conceptuales necesarias para la selección metodológica. A través de este análisis, se busca obtener una comprensión sólida de las metodologías de gestión de proyectos y los principios de sostenibilidad en la construcción habitacional, con el fin de establecer un marco de referencia que guíe la investigación.

2.1 Metodologías Predictivas/Cascada

Las metodologías cascada constituyen un enfoque tradicional en la gestión de proyectos, caracterizado por un flujo de trabajo secuencial y lineal (Project Management Institute, 2017). En este tipo de metodologías, las fases del proyecto se desarrollan de manera ordenada y consecutiva, con una transición clara entre ellas. Así, el enfoque secuencial implica que las fases del proyecto, como la definición de requisitos, el diseño, la implementación, la prueba y la entrega, se realizan de manera lineal, siguiendo un orden predeterminado (Kerzner, 2017).

Además, las metodologías Predictivas/Cascada se caracterizan por requerir una documentación detallada y exhaustiva de los requisitos, planes, diseños y procesos del proyecto (Meredith & Mantel, 2011). Esta documentación exhaustiva es esencial para garantizar la claridad y el control a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Sin embargo, debido a su naturaleza secuencial, las metodologías cascada suelen presentar dificultades para adaptarse a cambios durante el desarrollo del proyecto, lo que puede limitar su flexibilidad (Project Management Institute, 2017).

Otro aspecto destacado de estas metodologías es el énfasis en la planificación inicial. Las metodologías cascada se basan en una planificación detallada al inicio del proyecto, con el objetivo de minimizar cambios posteriores (Kerzner, 2017). Esta planificación exhaustiva busca establecer una hoja de ruta clara y predecible para el desarrollo del proyecto.

Dentro de las metodologías Cascada, se destacan varios enfoques ampliamente reconocidos. Uno de ellos es el *Project Management Body of Knowledge* (PMBoK) del *Project Management Institute* (PMI), considerado uno de los estándares más prestigiosos a nivel mundial para la gestión de proyectos. El PMBoK sigue un enfoque tradicional o cascada, aunque en sus últimas ediciones ha incorporado elementos de mayor flexibilidad y adaptabilidad (Project Management Institute, 2017, 2021).

Por otro lado, el ICB4 (IPMA *Competence Baseline*) de la Asociación Internacional de Gestión de Proyectos (IPMA) también se enmarca dentro de las metodologías tradicionales. No obstante, el ICB4 se distingue por su énfasis en el desarrollo de competencias de los profesionales de la gestión de proyectos (IPMA, 2015), buscando fortalecer las habilidades y conocimientos necesarios para liderar proyectos de manera efectiva.

Asimismo, el PM² (*Project Management Methodology*) de la Comisión Europea se presenta como una metodología que, si bien integra elementos de enfoques ágiles, también se basa en principios y prácticas de las metodologías Cascada tradicionales (Comisión Europea, 2021). Esta combinación busca aprovechar las ventajas de ambos enfoques para adaptarse a las necesidades específicas de los proyectos.

Es importante destacar que las metodologías Cascada han sido ampliamente utilizadas en el sector de la construcción, donde la planificación y el control riguroso de los procesos han sido fundamentales para el éxito de los proyectos (Project Management Institute, 2017). Sin embargo, en los últimos años, se ha observado una tendencia hacia la integración de enfoques ágiles/lean y la adaptación de estos métodos tradicionales a las nuevas realidades y desafíos de la industria. Esta evolución busca responder a la creciente necesidad de flexibilidad, adaptabilidad y entrega de valor continuo en los proyectos de construcción.

En conclusión, las metodologías Cascada representan un enfoque tradicional y estructurado para la gestión de proyectos, con un énfasis en la planificación inicial, la documentación exhaustiva y el desarrollo secuencial de las fases del proyecto. Aunque han sido ampliamente utilizadas en el sector

de la construcción, la industria está experimentando una transformación hacia la adopción de enfoques más ágiles y adaptativos, buscando responder a los desafíos y oportunidades que presenta el entorno actual.

2.1.1. PMBoK (PMI)

El *Project Management Body of Knowledge* (PMBoK), desarrollado por el *Project Management Institute* (PMI), es un estándar ampliamente reconocido que proporciona un marco de referencia global para la aplicación de principios y prácticas probadas en la dirección de proyectos (Project Management Institute, 2017, 2021). Este estándar se ha convertido en una guía fundamental para los profesionales de la gestión de proyectos en todo el mundo.

2.1.1.1 PMBoK Sexta edición

La sexta edición del PMBoK, publicada en 2017, ofrece una definición integral de la gestión de proyectos, describiéndola como la aplicación de un conjunto completo de recursos y competencias para alcanzar los objetivos del proyecto de manera efectiva (Project Management Institute, 2017). Además, el PMBoK en su sexta edición establece 10 áreas de conocimiento que abarcan aspectos clave de la gestión de proyectos, desde la gestión de la integración hasta la gestión de los interesados del proyecto (Project Management Institute, 2017). Cada una de estas áreas de conocimiento incluye procesos, herramientas y técnicas específicas que los gerentes de proyecto pueden emplear para planificar, ejecutar, monitorear y controlar los proyectos de manera eficiente.

La gestión de la integración del proyecto se enfoca en coordinar y unificar los diversos componentes del proyecto, mientras que la gestión del alcance se centra en definir y controlar los límites del proyecto. Por otro lado, la gestión del cronograma y la gestión de los costos se encargan de planificar y gestionar el tiempo y los recursos financieros del proyecto, respectivamente (Project Management Institute, 2017).

Asimismo, la gestión de la calidad busca garantizar que el proyecto cumpla con los estándares y requisitos establecidos, mientras que la gestión de los recursos se enfoca en la adquisición, asignación y gestión eficiente de los recursos necesarios para el proyecto. La gestión de las comunicaciones, por su parte, se encarga de asegurar un flujo de información efectivo entre los diferentes interesados del proyecto (Project Management Institute, 2017)

Además, la gestión de los riesgos se centra en identificar, analizar y responder a los posibles eventos que puedan afectar el proyecto, mientras que la gestión de las adquisiciones se enfoca en la planificación y ejecución de las compras y contratos necesarios para el proyecto. Por último, la gestión de los interesados del proyecto busca identificar, involucrar y gestionar a las personas, grupos u organizaciones que pueden influir o ser afectados por el proyecto (Project Management Institute, 2017).

Según el PMBoK, el ciclo de vida del proyecto comprende una serie de fases que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su cierre. En el enfoque predictivo, estas fases se desarrollan de manera secuencial, comenzando por la fase de inicio, donde se define el nuevo proyecto o una nueva fase de un proyecto existente mediante la obtención de la autorización correspondiente (Project Management Institute, 2017).

A continuación, se encuentra la fase de planificación, en la cual se establecen el alcance del proyecto, se refinan los objetivos y se definen las líneas de acción requeridas para alcanzar los objetivos propuestos. Esta fase es fundamental para sentar las bases de un proyecto exitoso, ya que permite establecer una hoja de ruta clara y detallada para su ejecución. (Project Management Institute, 2017).

Una vez finalizada la planificación, se da paso a la fase de ejecución, donde se integra y se lleva a cabo el trabajo definido en el plan para la dirección del proyecto, con el fin de cumplir con los requisitos establecidos. Durante esta fase, se ponen en práctica las estrategias y acciones planificadas, y se trabaja de manera coordinada para alcanzar los objetivos del proyecto.

Paralelamente a la ejecución, se desarrolla la fase de monitoreo y control, en la cual se realiza un seguimiento constante del avance del proyecto, se revisa el progreso y se informan los resultados obtenidos. Esta fase es crucial para garantizar que el proyecto se mantenga alineado con los objetivos de desempeño definidos en el plan para la dirección del proyecto y para identificar posibles desviaciones o problemas que requieran acciones correctivas. (Project Management Institute, 2017).

Finalmente, una vez que se han completado todas las operaciones a través de los grupos de procesos de dirección de proyectos, se llega a la fase de cierre, donde se realiza un cierre formal del proyecto o de una fase específica del mismo. En esta fase, se llevan a cabo actividades como la evaluación final de los resultados, la documentación de las lecciones aprendidas y la liberación de los recursos asignados al proyecto. (Project Management Institute, 2017).

La Figura 1, extraída del PMBoK, muestra la correspondencia entre los cinco Grupos de Procesos (Inicio, Planificación, Ejecución, Monitoreo y Control, y Cierre) y las diez Áreas de Conocimiento de la Dirección de Proyectos. Esta representación gráfica permite visualizar cómo los diferentes procesos de gestión de proyectos se distribuyen a lo largo del ciclo de vida del proyecto y cómo se relacionan con las distintas áreas de conocimiento.

Como se puede observar en la Figura 1, cada Área de Conocimiento tiene procesos específicos que se llevan a cabo en diferentes Grupos de Procesos, lo que demuestra la naturaleza integradora y transversal de la gestión de proyectos. Esta representación visual ayuda a comprender la interrelación entre los diferentes aspectos de la gestión de proyectos y cómo se aplican a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Es importante destacar que el enfoque waterfall, según el PMBoK, se basa en un desarrollo secuencial, donde el proyecto se divide en fases consecutivas y el trabajo no comienza en una fase hasta que se completa la fase anterior. Este enfoque implica un seguimiento lineal estricto, donde cada fase debe completarse antes de pasar a la siguiente, lo que puede limitar la flexibilidad y adaptabilidad del proyecto. (Project Management Institute, 2017).

En resumen, la sexta edición del PMBoK proporciona una definición integral de la gestión de proyectos y establece 10 áreas de conocimiento clave que abarcan diferentes aspectos de la gestión de proyectos. Además, describe el ciclo de vida del proyecto según el enfoque predictivo, destacando las fases secuenciales y el enfoque waterfall, que implica un seguimiento lineal estricto. Estas directrices y conocimientos son fundamentales para que los gerentes de proyecto puedan planificar, ejecutar, monitorear y controlar los proyectos de manera efectiva, cumpliendo con los requisitos establecidos y alcanzando los objetivos propuestos.

Áreas de Conocimiento	Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos				
	Grupo de Procesos de Inicio	Grupo de Procesos de Planificación	Grupo de Procesos de Ejecución	Grupo de Procesos de Monitoreo y Control	Grupo de Procesos de Cierre
4. Gestión de la Integración del Proyecto	4.1 Desarrollar el Acta de Constitución del Proyecto	4.2 Desarrollar el Plan para la Dirección del Proyecto	4.3 Dirigir y Gestionar el Trabajo del Proyecto	4.4 Monitorear y Controlar el Trabajo del Proyecto 4.5 Realizar el Control Integrado de Cambios	4.6 Cerrar Proyecto o Fase
5. Gestión del Alcance del Proyecto		5.1 Planificar la Gestión del Alcance 5.2 Recopilar Requisitos 5.3 Definir el Alcance 5.4 Crear la EDT/WBS		5.5 Validar el Alcance 5.6 Controlar el Alcance	
6. Gestión del Tiempo del Proyecto		6.1 Planificar la Gestión del Cronograma 6.2 Definir las Actividades 6.3 Secuenciar las Actividades 6.4 Estimar los Recursos de las Actividades 6.5 Estimar la Duración de las Actividades 6.6 Desarrollar el Cronograma		6.7 Controlar el Cronograma	
7. Gestión de los Costes del Proyecto		7.1 Planificar la Gestión de los Costos 7.2 Estimar los Costos 7.3 Determinar el Presupuesto		7.4 Controlar los Costos	
8. Gestión de la Calidad del Proyecto		8.1 Planificar la Gestión de la Calidad	8.2 Realizar el Aseguramiento de Calidad	8.3 Controlar la Calidad	
9. Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto		9.1 Planificar la Gestión de los Recursos Humanos	9.2 Adquirir el Equipo del Proyecto 9.3 Desarrollar el Equipo del Proyecto 9.4 Dirigir el Equipo del Proyecto		
10. Gestión de las Comunicaciones del Proyecto		10.1 Planificar la Gestión de las Comunicaciones	10.2 Gestionar las Comunicaciones	10.3 Controlar las Comunicaciones	
11. Gestión de los Riesgos del Proyecto		11.1 Planificar la Gestión de los Riesgos 11.2 Identificar los Riesgos 11.3 Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos 11.4 Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos 11.5 Planificar la Respuesta a los Riesgos		11.6 Controlar los Riesgos	
12. Gestión de las Adquisiciones del Proyecto		12.1 Planificar la Gestión de las Adquisiciones	12.2 Efectuar las Adquisiciones	12.3 Controlar las Adquisiciones	12.4 Cerrar las Adquisiciones
13. Gestión de los Interesados del Proyecto	13.1 Identificar a los Interesados	13.2 Planificar la Gestión de los Interesados	13.3 Gestionar la Participación de los Interesados	13.4 Controlar la Participación de los Interesados	

Figura 1. Correspondencia entre Grupos de Procesos y Áreas de Conocimiento de la Dirección de Proyectos. Fuente: PMI (2021)

2.1.1.2 PMBoK Séptima edición

La séptima edición del PMBOK, publicada en 2021, marca un hito significativo en la evolución del estándar de gestión de proyectos desarrollado por el Project Management Institute (PMI). A diferencia de la sexta edición, que se enfocaba principalmente en procesos, esta nueva versión adopta un enfoque basado en principios, definiendo doce principios fundamentales y ocho dominios de desempeño clave para la dirección y entrega exitosa de proyectos (Project Management Institute, 2021).

Uno de los aspectos más destacados de la séptima edición es su énfasis en la flexibilidad y adaptabilidad. En lugar de prescribir una estructura rígida de procesos, el nuevo enfoque basado en principios busca proporcionar a los equipos de proyecto la capacidad de ajustar sus prácticas según las necesidades específicas de cada iniciativa. Este cambio responde a las tendencias actuales en la gestión de proyectos, reconociendo la importancia de la agilidad y la capacidad de adaptación en entornos complejos y cambiantes (Project Management Institute, 2021).

Además de los doce principios, que abarcan aspectos como administración, equipo, interesados, valor, pensamiento sistémico, liderazgo, adaptación, calidad, complejidad, adaptabilidad y capacidad de recuperación, riesgo y cambio, la séptima edición del PMBOK introduce ocho dominios de desempeño. Estos dominios representan áreas clave de enfoque necesarias para la gestión exitosa de proyectos, incluyendo la gestión de interesados, la construcción y gestión del equipo del proyecto, los enfoques de desarrollo y ciclo de vida, la planificación efectiva, la ejecución del trabajo del proyecto, la entrega de resultados, la medición del progreso y desempeño, y la gestión de la incertidumbre y el riesgo (Project Management Institute, 2021).

La transición de la sexta a la séptima edición del PMBOK implica cambios significativos en la estructura y organización del estándar, como se ilustra en la Figura 2. Esta evolución refleja un esfuerzo por alinear el PMBOK con las tendencias actuales en la gestión de proyectos, reconociendo la importancia de la agilidad, la adaptación al cambio y la gestión basada en principios.

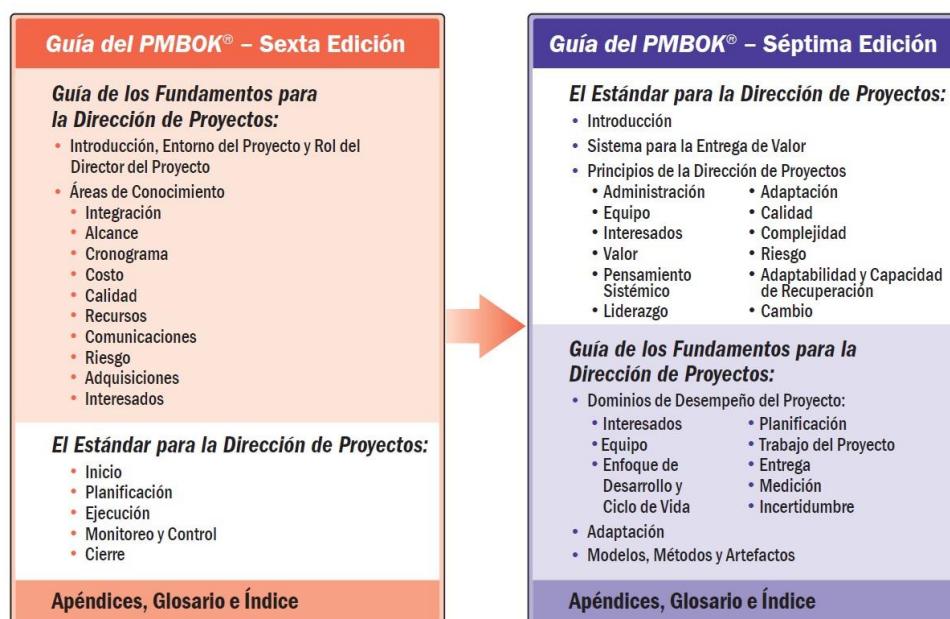


Figura 2. Revisión del Estándar para la Dirección de Proyectos y la Migración de la Sexta Edición a la Séptima Edición de la Guía del PMBOK. Fuente: PMI (2021)

Cada uno de los principios incluidos dentro de la nueva versión del estándar desempeña un papel crucial en el éxito de los proyectos. La administración implica la toma de decisiones y acciones que respaldan los objetivos del proyecto y los intereses de los *stakeholders*, mientras que el liderazgo se enfoca en inspirar, motivar y guiar al equipo del proyecto hacia la consecución de las metas establecidas. La colaboración y el trabajo en equipo efectivo son fundamentales para aprovechar las habilidades y conocimientos de todos los miembros, fomentando un ambiente de cooperación y sinergia (Project Management Institute, 2021).

Asimismo, la identificación y gestión de las expectativas y necesidades de los interesados es esencial para garantizar su compromiso y satisfacción a lo largo del proyecto. El enfoque en la entrega continua de valor a los *stakeholders*, junto con el pensamiento sistémico que considera al proyecto como parte de un sistema más amplio, permite alinear los esfuerzos con los objetivos estratégicos de la organización (Project Management Institute, 2021).

La adaptabilidad y flexibilidad para ajustar enfoques y planes según las condiciones cambiantes del proyecto, así como la gestión adecuada de la complejidad y los riesgos, son principios clave que permiten a los equipos de proyecto enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades que surgen durante la ejecución. Además, el fomento de la resiliencia y la capacidad de recuperación, junto con la gestión efectiva de los cambios para minimizar impactos negativos, contribuyen a la robustez y sostenibilidad de los proyectos (Project Management Institute, 2021).

Además los ocho dominios de desempeño que representan áreas clave de enfoque necesarias para la gestión exitosa de proyectos. Estos dominios incluyen la identificación y gestión de las partes interesadas, la construcción y gestión del equipo del proyecto, los métodos y enfoques para el desarrollo y ciclo de vida del proyecto, la planificación efectiva, la ejecución del trabajo necesario para cumplir los objetivos, la entrega de los resultados esperados, el monitoreo y control del progreso y desempeño, y la gestión de la incertidumbre y el riesgo (Project Management Institute, 2021).

En resumen, la séptima edición del PMBOK representa un avance significativo en la evolución del estándar de gestión de proyectos del PMI, adoptando un enfoque más flexible, adaptable y alineado con las necesidades actuales de la profesión. Al incorporar principios y dominios de desempeño, esta nueva versión del PMBOK busca proporcionar a los profesionales de la gestión de proyectos un marco de referencia más holístico y orientado a la entrega de valor, que les permita enfrentar los desafíos de un entorno cada vez más complejo y cambiante.

2.1.2. ICB4 (IPMA)

El ICB4 (*Individual Competence Baseline*), desarrollado por la Asociación Internacional de Gestión de Proyectos (IPMA-*International Project Management Association*), es un estándar que se enfoca en el desarrollo de competencias para los profesionales de la gestión de proyectos, a diferencia del PMBoK, que se centra principalmente en los procesos. Este estándar se define como un marco de referencia global para la competencia en la gestión de proyectos, programas y portafolios, y está estructurado en tres dimensiones clave: Competencias de Perspectiva, Competencias de Personas y Competencias de Práctica (IPMA, 2015).

Las Competencias de Perspectiva abarcan aspectos estratégicos y contextuales, como la comprensión de cómo los proyectos contribuyen a los objetivos organizacionales, el conocimiento de los sistemas de gobernanza y estructuras, el cumplimiento de normas y regulaciones, la gestión de intereses y poder de los stakeholders, y la importancia de la cultura y valores en la gestión de

proyectos. Estas competencias permiten a los profesionales alinear los proyectos con el entorno y las metas de la organización (IPMA, 2015).

Por su parte, las Competencias de Personas se enfocan en las habilidades y capacidades individuales necesarias para liderar y gestionar proyectos de manera efectiva. Estas incluyen la autoconciencia y autogestión, la integridad y fiabilidad, la comunicación y relaciones, el liderazgo, el trabajo en equipo, el manejo de conflictos y crisis, la creatividad e innovación, la orientación a resultados, la negociación y la orientación al cliente. Estas competencias permiten a los profesionales desarrollar las habilidades interpersonales y de liderazgo necesarias para guiar y motivar a los equipos de proyecto (IPMA, 2015).

En cuanto a las Competencias de Práctica, estas se centran en los aspectos técnicos y metodológicos de la gestión de proyectos, abarcando áreas como la gestión del proyecto en sí, el alcance y entregables, el tiempo, la organización e información, la calidad, las finanzas, los recursos, los riesgos y oportunidades, los interesados, el cambio y transformación, y los métodos, herramientas y técnicas. Estas competencias permiten a los profesionales aplicar las mejores prácticas y herramientas para planificar, ejecutar, monitorear y cerrar proyectos de manera efectiva (IPMA, 2015).

Una de las principales fortalezas del ICB4 es su enfoque holístico, que trasciende los aspectos puramente técnicos de la gestión de proyectos al integrar competencias conductuales y contextuales. Este enfoque busca formar profesionales con un perfil más completo, capaces de adaptarse a diferentes entornos y liderar proyectos de manera efectiva, considerando no solo los aspectos metodológicos, sino también las habilidades interpersonales y la comprensión del contexto organizacional (IPMA, 2015).

Además, el ICB4 sirve como marco de referencia para la certificación de los profesionales de la gestión de proyectos a través de la IPMA, una certificación reconocida a nivel internacional que demuestra el nivel de competencia de los individuos en las áreas clave de la dirección de proyectos (IPMA, 2015). Esta certificación contribuye a la validación y reconocimiento de las habilidades y conocimientos de los profesionales, fomentando su desarrollo continuo y mejorando su empleabilidad en un mercado cada vez más competitivo.

En conclusión, el ICB4 es un estándar integral que se enfoca en el desarrollo de competencias para los profesionales de la gestión de proyectos, abarcando aspectos de perspectiva, habilidades personales y prácticas técnicas. Su enfoque holístico y su reconocimiento internacional lo convierten en una herramienta valiosa para formar y certificar a los profesionales, permitiéndoles adaptarse a diferentes entornos y liderar proyectos de manera efectiva en un mundo cada vez más complejo y dinámico.

2.1.3. PM² (PM² Alliance)

El PM² (*Project Management Methodology*) es una metodología de gestión de proyectos desarrollada por la Comisión Europea que busca integrar elementos de enfoques tradicionales y ágiles, a diferencia del PMBoK y el ICB4, que son estándares más reconocidos internacionalmente. Esta metodología combina elementos de diversas prácticas y metodologías de gestión de proyectos reconocidas a nivel mundial, enfocándose en ofrecer soluciones prácticas y tangibles, respaldadas por un conjunto de herramientas y técnicas que facilitan la ejecución y control de proyectos desde su inicio hasta su cierre (Comisión Europea, 2021).

Esta metodología se apoya en cuatro pilares fundamentales: gobernanza, ciclo de vida, procesos y artefactos. Estos pilares se sustentan en una base sólida de mejores prácticas en gestión de proyectos y en una guía que proporciona un enfoque estructurado para la aplicación efectiva de la metodología, como se ilustra en la Figura 3 (Comisión Europea, 2021).

Entre las características distintivas del PM², se encuentra su enfoque en la simplicidad y flexibilidad, siendo una metodología sencilla y fácil de implementar que puede adaptarse a las necesidades específicas de los proyectos y las organizaciones. Además, la metodología se estructura en cuatro fases principales: Inicio, Planificación, Ejecución y Cierre, con actividades de seguimiento y control que se extienden a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto (Comisión Europea, 2021).

Otra característica importante del PM² es su especificación de una estructura de roles y responsabilidades claramente definidos, que incluye, entre otros, al Director del Proyecto, Propietario del Proyecto y el Comité de Dirección del Proyecto, asegurando una clara asignación de tareas y responsabilidades. Asimismo, la metodología proporciona una serie de artefactos y documentos estándar, como el Acta de Constitución del Proyecto, el Caso de Negocio, y el Plan del Proyecto, que facilitan la planificación, ejecución y monitoreo de los proyectos (Comisión Europea, 2021).

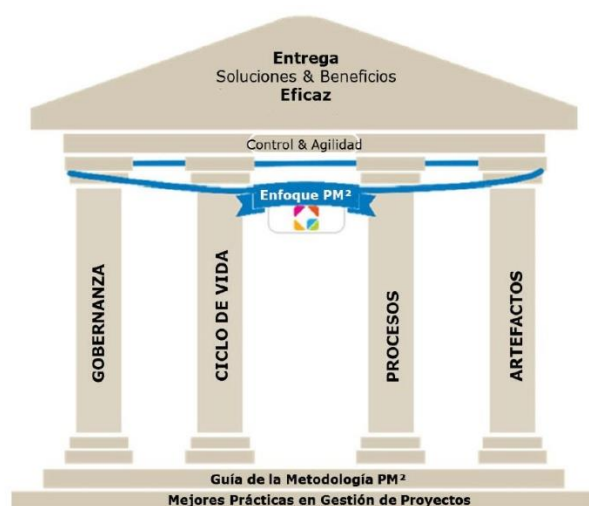


Figura 3. La Casa de PM². Fuente: PM² (2021)

A diferencia del PMBoK, que se centra más en los procesos de gestión de proyectos, y del ICB4, que se enfoca en el desarrollo de competencias, el PM² proporciona un marco más integral que combina elementos de ambos enfoques. Esta característica convierte al PM² en una metodología potencialmente interesante para su aplicación en proyectos de construcción, donde se requiere una gestión adaptativa y la integración de diversos *stakeholders* (Comisión Europea, 2021).

El ciclo de vida de un proyecto según la metodología PM² se divide en cuatro fases principales como se observa en la Figura 4. La Fase de Inicio incluye la identificación y definición inicial del proyecto, la elaboración del Acta de Constitución del Proyecto, y la reunión de inicio. En la Fase de Planificación, se desarrollan los planes detallados necesarios para guiar la ejecución y el control del proyecto, incluyendo actividades como la definición del alcance, la planificación de recursos, la gestión de riesgos y la creación de un cronograma. La Fase de Ejecución consiste en la realización de las actividades planificadas, la gestión del equipo del proyecto, y la comunicación con las partes interesadas, llevando a cabo las tareas necesarias para producir los entregables del proyecto. Por

último, la Fase de Cierre incluye la finalización de todas las actividades del proyecto, la entrega de los productos finales, la evaluación del desempeño del proyecto, y la documentación de las lecciones aprendidas (Comisión Europea, 2021).

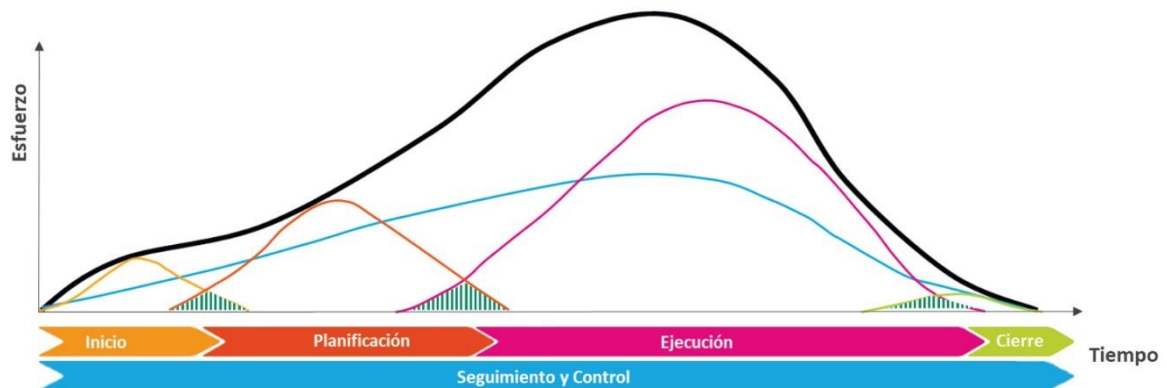


Figura 4. Ciclo de vida del proyecto. Fuente: PM² (2021)

Una de las fortalezas del PM² es su alta adaptabilidad, permitiendo a las organizaciones personalizar los procesos y artefactos según sus necesidades específicas. Además, esta metodología está respaldada por una comunidad de práctica activa y una serie de recursos adicionales, incluidos talleres, sesiones de capacitación y documentación en línea, lo que facilita su adopción y uso efectivo (Comisión Europea, 2021).

En resumen, el PM² representa una opción robusta y flexible para la gestión de proyectos, adecuada tanto para proyectos de la Unión Europea como para otras organizaciones. Su enfoque en la simplicidad, junto con su estructura clara y definida, proporciona una base sólida para la implementación y gestión exitosa de proyectos de cualquier tipo y tamaño. Aunque la adopción del PM² ha sido más limitada en el sector de la construcción en comparación con el PMBoK y el ICB4, su enfoque híbrido y su énfasis en la agilidad y la colaboración lo convierten en una opción relevante a considerar en el contexto de esta investigación sobre la aplicación de metodologías ágiles en proyectos de construcción habitacional sostenible.

2.2 Metodologías Lean

Las Metodologías Lean han surgido como enfoques alternativos para la gestión de proyectos, ganando relevancia en los últimos años en contraste con las metodologías Cascada más tradicionales. Estas metodologías tienen sus raíces en los principios y prácticas desarrollados originalmente en la industria automotriz japonesa, especialmente en Toyota, y se han adaptado e implementado en diversos sectores, incluyendo la construcción (Project Management Institute, 2017).

La filosofía Lean se distingue por su enfoque en la eliminación sistemática de todo tipo de desperdicios, ya sean relacionados con el tiempo, los recursos, los movimientos o los inventarios. Sin embargo, el objetivo fundamental de las metodologías Lean trasciende la simple reducción de costos, centrándose en maximizar el valor entregado al cliente final mediante procesos ágiles, flexibles y altamente adaptables (Koskela, 1992).

La Figura 5 ilustra la relación entre las diferentes metodologías Lean y Ágil, mostrando cómo *Kanban* se encuentra dentro del ámbito Lean y Ágil, mientras que enfoques como *Scrum*, *Crystal*,

XP, FDD y DSDM se enmarcan en el ámbito Ágil. Esta representación visual ayuda a comprender la ubicación entre estas metodologías dentro de los 2 enfoques Lean y Ágil.

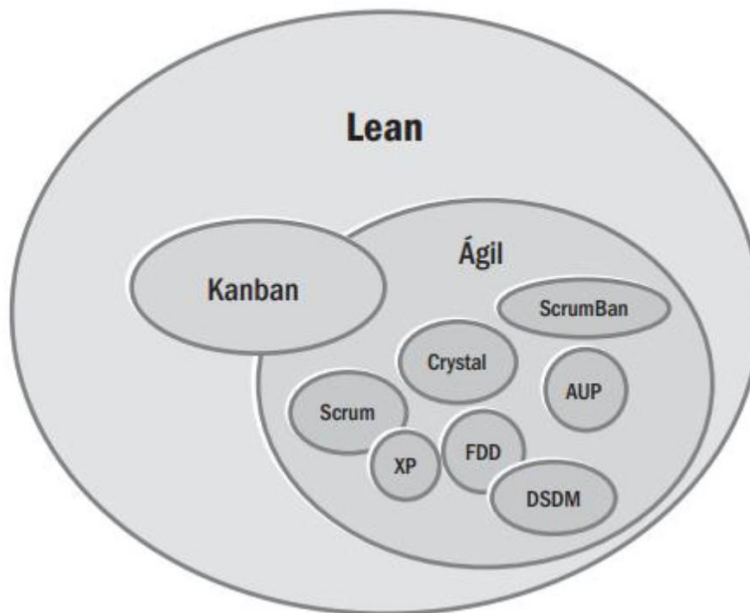


Figura 5. Enfoques Lean Fuente: Project Management Institute. (2017)

A diferencia de los enfoques tradicionales, las Metodologías Lean ponen un mayor énfasis en la participación activa de los equipos, la mejora continua y la entrega incremental de valor. Esto se logra a través de herramientas y técnicas como la visualización del flujo de trabajo, la limitación del trabajo en curso y la resolución colaborativa de problemas (Ballard & Howell, 1998).

Dentro del amplio espectro de Metodologías Lean, tres enfoques se han destacado por su aplicación relevante en el sector de la construcción: *Scrum*, *Kanban* y *Lean Construction*. Cada uno de estos métodos aporta principios, prácticas y herramientas específicas que buscan mejorar la eficiencia, la flexibilidad y la sostenibilidad de los proyectos de construcción (Koskela, 2000).

Scrum, por ejemplo, se basa en ciclos iterativos e incrementales, conocidos como *Sprints*, en los que se entrega valor de manera regular. *Kanban*, por su parte, se enfoca en la visualización del flujo de trabajo, la limitación del trabajo en curso y la mejora continua. *Lean Construction*, a su vez, se inspira en los principios de la manufactura Lean, buscando maximizar el valor para el cliente mientras se minimiza el desperdicio en todas las fases del proceso de construcción (Koskela, 1992; Ballard & Howell, 1998).

A continuación, se analizará en mayor detalle cada uno de estos enfoques Lean y su potencial aplicación en el contexto de la construcción habitacional sostenible. Este análisis permitirá comprender cómo estas metodologías pueden contribuir a mejorar la eficiencia, la flexibilidad y la sostenibilidad de los proyectos, al tiempo que se maximiza el valor entregado al cliente final y se fomenta la participación activa de los equipos en un entorno de mejora continua.

2.2.1. *Scrum*

Scrum es un *framework* ágil que ha encontrado aplicación tanto en el desarrollo de software como en la gestión de proyectos de construcción. Este enfoque se basa en ciclos iterativos e incrementales, conocidos como *Sprints*, en los que se entrega valor de manera regular (Schwaber & Sutherland, 2020).

Uno de los principios clave de *Scrum* es la creación de equipos pequeños, multidisciplinares y autoorganizados, que tienen la autonomía y la responsabilidad de planificar, ejecutar y entregar los entregables del proyecto. Estos equipos se fundamentan en la colaboración y la comunicación efectiva para alcanzar los objetivos establecidos (Schwaber & Sutherland, 2020).

El trabajo en *Scrum* se organiza en *Sprints*, que son iteraciones de duración fija (generalmente de 2 a 4 semanas) en las que se completan tareas y se entrega valor de manera incremental. Al inicio de cada *Sprint*, se realiza una planificación detallada, y al final, una revisión y retrospectiva. Esta estructura permite al equipo adaptarse a los cambios y mejorar continuamente su desempeño (Schwaber & Sutherland, 2020).

Además, los equipos *Scrum* se reúnen diariamente en breves reuniones (*stand-ups*) para coordinar el trabajo, identificar problemas y tomar decisiones de manera ágil. Estas reuniones fomentan la transparencia y la colaboración, permitiendo al equipo mantenerse alineado y enfocado en los objetivos del proyecto (Schwaber & Sutherland, 2020).

A diferencia de los enfoques tradicionales, *Scrum* se enfoca en la entrega continua de valor al cliente a través de incrementos funcionales del producto. Esto permite obtener retroalimentación temprana y adaptar el proyecto según las necesidades cambiantes, asegurando que el resultado final cumpla con las expectativas del cliente (Schwaber & Sutherland, 2020).

Scrum define tres roles principales que son esenciales para el éxito del marco de trabajo: el *Product Owner*, responsable de maximizar el valor del producto y gestionar el *Product Backlog*; el *Scrum Master*, que promueve y apoya *Scrum*, facilitando eventos y eliminando impedimentos para el equipo; y los *Developers* (Desarrolladores), responsables de crear el Incremento durante cada *Sprint* y adaptar el plan diario hacia el Objetivo del *Sprint* (Schwaber & Sutherland, 2020).

Además, *Scrum* organiza el trabajo en una serie de eventos definidos que promueven la transparencia, inspección y adaptación, como se muestra en la Figura 6. Estos eventos incluyen el *Sprint Planning* (Planificación del *Sprint*), donde se define el trabajo a realizar y se establece el Objetivo del *Sprint*; el *Daily Scrum* (*Scrum Diario*), una reunión diaria para inspeccionar el progreso y adaptar el plan; el *Sprint Review* (Revisión del *Sprint*), donde se inspecciona el Incremento y se adapta el *Product Backlog*; y el *Sprint Retrospective* (Retrospectiva del *Sprint*), un evento para que el equipo de *Scrum* inspeccione y planifique formas de aumentar la calidad y efectividad (Schwaber & Sutherland, 2020).

Scrum también define tres artefactos principales que proporcionan transparencia sobre el trabajo que se está realizando y permiten la inspección y adaptación continua: el *Product Backlog* (Pila del Producto), una lista dinámica de todo lo que se conoce que es necesario en el producto; el *Sprint Backlog* (Pila del *Sprint*), un conjunto de elementos del *Product Backlog* seleccionados para el *Sprint*, más un plan para entregar el Incremento del producto y alcanzar el Objetivo del *Sprint*; y el Incremento, la suma de todos los elementos del *Product Backlog* completados durante un *Sprint* y los Incrementos de todos los *Sprints* anteriores (Schwaber & Sutherland, 2020).

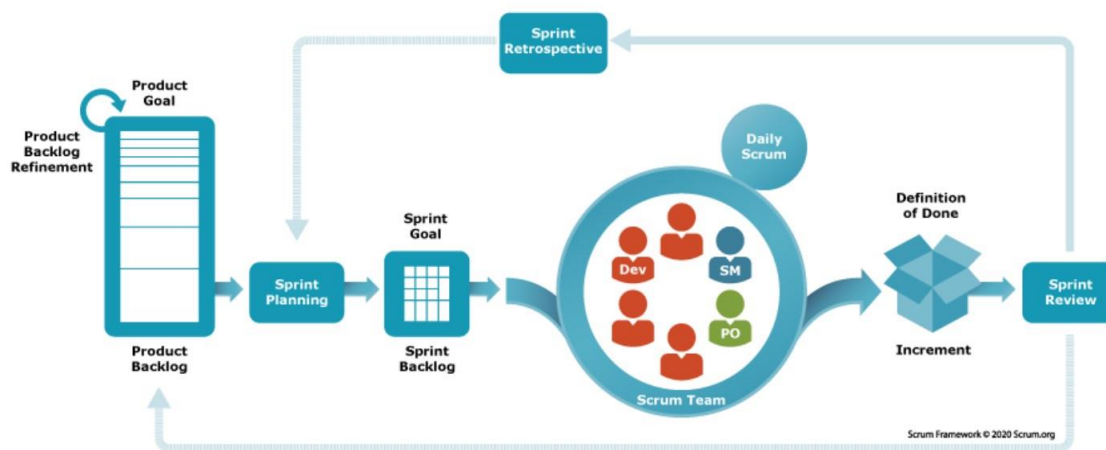


Figura 6. Scrum Framework. Fuente: Scrum.org (s.f.)

En resumen, *Scrum* es un *framework* ágil que se basa en principios como la entrega incremental de valor, la colaboración de equipos autoorganizados y la adaptación continua. Su estructura de eventos y artefactos promueve la transparencia, la inspección y la adaptación, permitiendo a los equipos de proyecto enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades de manera efectiva. La aplicación de *Scrum* en la gestión de proyectos de construcción puede contribuir a mejorar la eficiencia, la flexibilidad y la satisfacción del cliente, al tiempo que se fomenta un entorno de mejora continua y aprendizaje colaborativo.

2.2.2. Kanban

Kanban es una metodología ágil que se enfoca en la visualización del flujo de trabajo, la limitación del trabajo en curso y la mejora continua. Aunque su adopción en la industria de la construcción ha sido más limitada en comparación con *Scrum*, existen algunas experiencias de su aplicación que demuestran su potencial en este sector (Anderson, 2010).

Uno de los principios clave de *Kanban* es el uso de un tablero visual para representar el flujo de trabajo, dividido en columnas que representan las diferentes etapas del proceso. Este tablero permite a los equipos tener una visión clara del estado y el progreso de las tareas, facilitando la identificación de cuellos de botella y oportunidades de mejora (Anderson, 2010).

Además, *Kanban* establece límites en la cantidad de trabajo que puede estar en proceso al mismo tiempo, con el objetivo de mantener un flujo de trabajo constante y evitar la sobrecarga del equipo. Esta práctica ayuda a mejorar la eficiencia y la calidad del trabajo, al tiempo que reduce el estrés y la frustración de los miembros del equipo (Anderson, 2010).

A diferencia de los enfoques basados en hitos, *Kanban* se centra en la entrega continua de valor a través de la optimización del flujo de trabajo. Este enfoque permite una mayor agilidad y capacidad de respuesta a los cambios, ya que el equipo puede adaptar su trabajo según las necesidades y prioridades del proyecto (Liker & Convis, 2012).

La Figura 7 muestra un ejemplo de un tablero *Kanban* típico, que se divide en varias columnas que representan diferentes etapas del flujo de trabajo, como "Listo", "Desarrollo y Pruebas Unitarias", "Desarrollado", "Prueba de Sistema" y "Completado". Las tareas se mueven de izquierda a derecha a medida que avanzan por las diferentes etapas, y se aplican límites de trabajo en curso (WIP) a las

columnas para restringir la cantidad de tareas que pueden estar en progreso al mismo tiempo. Además, el tablero puede incluir *swimlanes*, que son filas horizontales que permiten categorizar las tareas por diferentes criterios, como prioridad o tipo de trabajo (Project Management Institute, 2017).

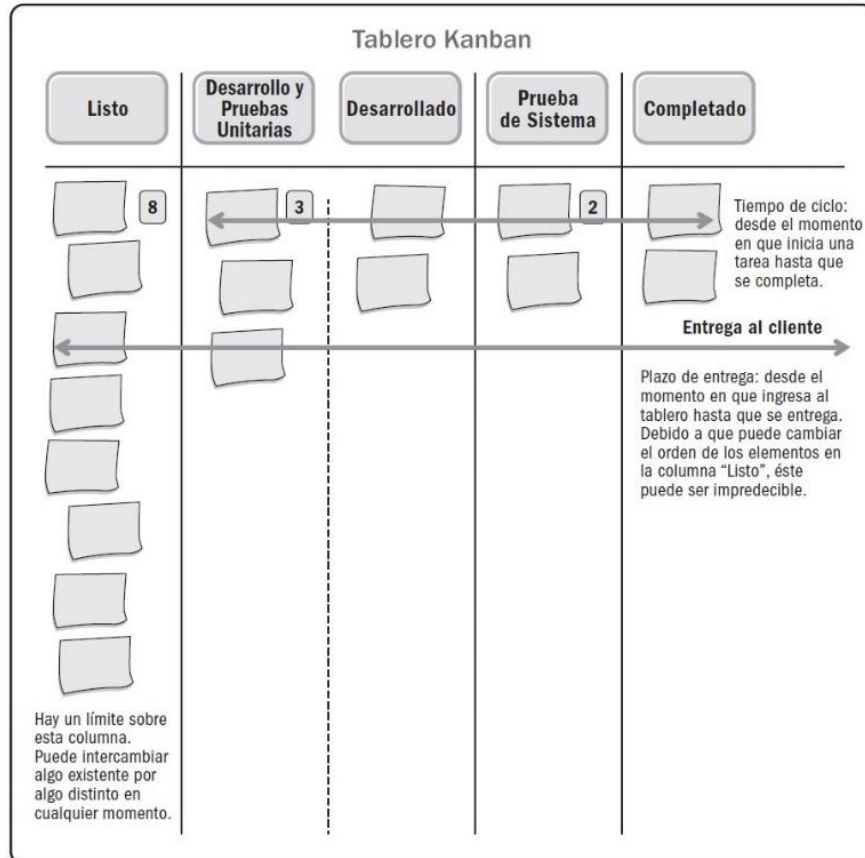


Figura 7. Ejemplo de un tablero *Kanban*. Fuente: Project Management Institute. (2017).

La implementación de *Kanban* ofrece varios beneficios que mejoran la gestión y el rendimiento del equipo. Al visualizar el flujo de trabajo, todos los miembros del equipo pueden ver el estado actual de las tareas y detectar problemas rápidamente, lo que mejora la visibilidad y la transparencia. Además, la limitación del trabajo en curso y la gestión del flujo ayudan a reducir el tiempo de ciclo y a mejorar la eficiencia del equipo (Anderson, 2010).

Otra ventaja de *Kanban* es su flexibilidad y adaptabilidad. Esta metodología puede integrarse con otras metodologías ágiles como *Scrum*, permitiendo una gestión más flexible del trabajo y adaptándose a las necesidades específicas del proyecto. Además, la transparencia y las políticas explícitas de *Kanban* fomentan la colaboración y la comunicación dentro del equipo, mejorando el trabajo en equipo y la resolución de problemas (Anderson, 2010).

En resumen, *Kanban* es una metodología ágil poderosa y flexible que puede mejorar significativamente la gestión de proyectos y el rendimiento del equipo en el sector de la construcción. Su enfoque en la visualización del flujo de trabajo, la limitación del trabajo en curso y la mejora continua lo hace adecuado para una amplia gama de entornos y tipos de proyectos. Al adoptar *Kanban*, los equipos de construcción pueden aumentar la eficiencia, la calidad y la

capacidad de respuesta a los cambios, al tiempo que fomentan un entorno de colaboración y aprendizaje continuo.

2.2.3. Lean Construction

Lean Construction, una filosofía y metodología de gestión de proyectos de construcción que se inspira en los principios de la manufactura Lean desarrollados por Toyota. Esta tiene como objetivo principal maximizar el valor para el cliente mientras se minimiza el desperdicio en todas las etapas del proceso constructivo. Esta metodología se basa en varios principios fundamentales y emplea herramientas y técnicas específicas para lograr sus objetivos (Koskela, 1992; Ballard & Howell, 1998; Koskela, 2000; Ballard, 2000).

El enfoque central de *Lean Construction* se encuentra en la identificación y entrega del valor real que el cliente final espera, evitando todas aquellas actividades que no agregan valor y pueden considerarse como desperdicio. Además, busca eliminar de manera sistemática todos los procesos y actividades que no generan valor, optimizando el flujo de trabajo para garantizar un ritmo constante y predecible durante la ejecución del proyecto. Como se ilustra en la Figura 8, además de enfocarse en la entrega de valor al cliente, también se centra en la mejora continua, la reducción de desperdicios, la gestión de procesos, la planificación colaborativa y el uso de herramientas y técnicas específicas para optimizar el flujo de trabajo y la productividad en la construcción.

Otro aspecto clave de *Lean Construction* es el fomento de una mayor integración y colaboración entre los diferentes actores involucrados en el proyecto, como contratistas, subcontratistas, proveedores y el cliente, con el propósito de alinear esfuerzos y generar soluciones conjuntas. Asimismo, esta filosofía destaca la importancia de la mejora continua mediante la identificación y resolución sistemática de problemas, lo que permite optimizar constantemente los procesos constructivos.



Figura 8. Características Lean Construction. Fuente: www.leanbim.solutions

Lean Construction cuenta con diversas herramientas y técnicas esenciales para mejorar la eficiencia y reducir los desperdicios en los proyectos de construcción. Una de ellas es el **Last Planner System (LPS)**, una herramienta de planificación colaborativa que involucra a todos los participantes del proyecto en la planificación y ejecución del trabajo, ayudando a mejorar la predictibilidad y confiabilidad de los programas de construcción. El LPS se enfoca en la planificación a corto plazo, permitiendo ajustes rápidos y una mejor coordinación entre los diferentes equipos (Ballard, 2000).

Otra herramienta importante es el **Integrated Project Delivery (IPD)**, un enfoque que integra a todas las partes interesadas (propietarios, diseñadores, contratistas, etc.) desde el inicio del proyecto para optimizar los resultados y fomentar la colaboración. El IPD busca alinear los intereses de todos los participantes, compartir riesgos y recompensas, y tomar decisiones de manera conjunta para beneficio del proyecto (AIA, 2007).

Asimismo, el **Value Stream Mapping (VSM)** es una técnica de análisis que se utiliza para mapear todas las acciones (tanto las que agregan valor como las que no) necesarias para llevar un proyecto de construcción desde su inicio hasta su finalización. Esta herramienta ayuda a identificar áreas de desperdicio y oportunidades de mejora, permitiendo optimizar el flujo de trabajo y reducir los tiempos de entrega (Rother & Shook, 2003).

La metodología **5S (Sort, Set in order, Shine, Standardize, Sustain)** es otra técnica empleada en *Lean Construction* para organizar el espacio de trabajo de manera eficiente, eliminando el desperdicio y mejorando la productividad. Las 5S se enfocan en mantener un entorno de trabajo limpio, ordenado y estandarizado, lo que facilita la identificación de problemas y promueve un ambiente de trabajo más seguro (Hirano, 1995).

Por último, el **Just-In-Time (JIT)** es una estrategia que busca alinear la producción de materiales con la demanda del proyecto, reduciendo los inventarios y minimizando los desperdicios. El JIT se basa en la entrega de materiales y componentes en el momento preciso en que se necesitan, evitando así la acumulación de stock innecesario y los costos asociados (Womack & Jones, 1996).

La implementación de *Lean Construction* en los proyectos de construcción ofrece múltiples beneficios, como la reducción de costos al eliminar desperdicios y mejorar la eficiencia; la mejora de la calidad al enfocarse en el valor para el cliente y en la mejora continua; una mayor satisfacción del cliente al entregar proyectos que satisfacen mejor sus necesidades y expectativas; la reducción de los tiempos de entrega al mejorar la predictibilidad y eficiencia del proceso constructivo; y la mejora de la seguridad al promover un lugar de trabajo organizado y eficiente.

Un caso notable de implementación de *Lean Construction* es el proyecto de construcción del hospital de St. Olav en Noruega. Utilizando técnicas como el **Last Planner System** y la planificación colaborativa, el equipo del proyecto pudo reducir significativamente los desperdicios y mejorar la eficiencia del proyecto, resultando en una finalización exitosa del hospital dentro del presupuesto y del plazo estipulado. Esta metodología permitió una reducción del 3.4% en los costos por metro cuadrado y una mejora del 55.1% en la calidad de construcción, evidenciada por la reducción de los costos de garantía por metro cuadrado (Andersen et al., 2012).

El éxito del proyecto del hospital de St. Olav se atribuye a la implementación de *Lean Construction* y a la cultura de colaboración y mejora continua del equipo. Herramientas como el **Value Stream Mapping (VSM)** ayudaron a eliminar actividades sin valor, optimizando los procesos. La aplicación del Kaizen (PDCA) promovió un ciclo constante de mejora, abordando problemas de manera oportuna. Este enfoque mejoró la eficiencia del proyecto y elevó la moral del equipo, demostrando que *Lean Construction* es una filosofía de trabajo colaborativo y eficiente (Andersen et al., 2012).

La Figura 9 muestra el hospital de St. Olav, un ejemplo destacado de la aplicación exitosa de *Lean Construction* en un proyecto de construcción de gran escala. Este caso demuestra cómo la adopción de los principios y herramientas de *Lean Construction* puede conducir a mejoras significativas en términos de costos, calidad, plazos y satisfacción del cliente.



Figura 9. Hospital St. Olavs. Fuente: Sanz Bohigues (2015)

La aplicación exitosa de *Lean Construction* en el proyecto del hospital de St. Olav no solo demuestra la eficacia de esta metodología, sino que también sienta un precedente para su adopción en otros proyectos de construcción. Al compartir y aprender de estos casos de éxito, la industria de la construcción puede avanzar hacia prácticas más sostenibles, eficientes y centradas en el cliente.

Además, el enfoque de *Lean Construction* en la colaboración y la integración de todas las partes interesadas a lo largo del ciclo de vida del proyecto es especialmente relevante para los proyectos de construcción habitacional sostenible. Al fomentar la participación temprana y continua de los clientes, diseñadores, contratistas y otros actores clave, *Lean Construction* puede ayudar a alinear los objetivos del proyecto con las necesidades y expectativas de los usuarios finales, al tiempo que se optimiza el desempeño ambiental y social de las viviendas (Koskela et al., 2002).

En el contexto de la construcción habitacional sostenible, la aplicación de principios y herramientas de *Lean Construction* puede contribuir a la reducción del impacto ambiental, la mejora de la calidad de vida de los residentes y la optimización de los recursos. Por ejemplo, el uso del *Value Stream Mapping* (VSM) puede ayudar a identificar y eliminar desperdicios en el proceso de construcción, reduciendo el consumo de materiales y energía. Asimismo, la implementación del *Last Planner System* puede mejorar la coordinación y el flujo de trabajo, minimizando los retrasos y los reprocesos que pueden afectar la calidad y la sostenibilidad de las viviendas (Ballard & Howell, 2003).

Además, la filosofía de mejora continua de *Lean Construction* puede impulsar la innovación y la adopción de tecnologías y prácticas más sostenibles en la construcción habitacional. Al fomentar una cultura de aprendizaje y adaptación, *Lean Construction* puede ayudar a los equipos de proyecto a identificar y aprovechar oportunidades para mejorar el desempeño ambiental, social y económico de las viviendas a lo largo de su ciclo de vida (Nahmens & Ikuma, 2012).

En resumen, *Lean Construction* es una filosofía y metodología integral que busca transformar la gestión de proyectos de construcción, centrándose en la entrega de valor al cliente, la eliminación de desperdicios y la mejora continua. Sus principios, herramientas y técnicas, como el *Last Planner System*, el *Integrated Project Delivery*, el *Value Stream Mapping*, la metodología 5S y el *Just-In-Time*, permiten optimizar los procesos constructivos, reducir costos, mejorar la calidad y aumentar la satisfacción del cliente. La adopción de *Lean Construction* en este sector puede contribuir significativamente al desarrollo de comunidades más sostenibles y resilientes, y a la creación de valor a largo plazo para todas las partes interesadas, además de un cambio de paradigma en la industria de la construcción, promoviendo una mayor eficiencia, colaboración y sostenibilidad en los proyectos.

2.3 Análisis de la sostenibilidad en proyectos de construcción habitacional

La sostenibilidad se ha convertido en un tema de creciente importancia en la industria de la construcción, particularmente en el ámbito de los proyectos de construcción habitacional. Las preocupaciones cada vez mayores por el impacto ambiental, el uso eficiente de los recursos y el bienestar de las comunidades han impulsado la necesidad de adoptar enfoques más sostenibles en el desarrollo de proyectos de vivienda (Kibert, 2016).

En este contexto, el análisis de la sostenibilidad en los proyectos de construcción habitacional ha adquirido un papel fundamental. Este análisis tiene como objetivo comprender y evaluar los diversos aspectos relacionados con la sostenibilidad, con el fin de identificar las mejores prácticas, los estándares y los desafíos que deben abordarse para lograr proyectos de construcción habitacional más respetuosos con el medio ambiente, socialmente inclusivos y económicamente viables (Berardi, 2013).

Dos elementos clave en este análisis son la exploración de los estándares de construcción sostenible y la revisión de casos de proyectos de construcción habitacional sostenible. Por un lado, los estándares de construcción sostenible establecen criterios y pautas para evaluar y certificar la sostenibilidad de los proyectos, proporcionando un marco de referencia para los profesionales de la industria. Por otro lado, la revisión de casos de proyectos de construcción habitacional sostenible permite comprender las mejores prácticas, los desafíos y los factores clave de éxito en la implementación de estrategias sostenibles.

Al examinar estos aspectos en profundidad, se puede obtener una comprensión más completa de cómo la sostenibilidad se ha incorporado y aplicado en el contexto de los proyectos de construcción habitacional. Además, este análisis permite explorar cómo los principios de sostenibilidad pueden integrarse con los enfoques de gestión de proyectos, tanto tradicionales como ágiles, para lograr resultados más efectivos y duraderos (Robichaud & Anantmula, 2011).

A continuación, se analizará en detalle cada uno de estos sub-puntos relacionados con la sostenibilidad en los proyectos de construcción habitacional, con el fin de proporcionar una visión

integral de los desafíos y oportunidades que enfrentan los profesionales de la industria en la búsqueda de un desarrollo más sostenible.

2.3.1. Exploración de estándares de construcción sostenible

La construcción sostenible ha adquirido una importancia significativa en la industria de la construcción debido a la creciente preocupación por el impacto ambiental y la necesidad de implementar prácticas más responsables y eficientes. Los estándares de construcción sostenible, que se presentan como guías y certificaciones, proporcionan criterios específicos para el diseño, construcción y operación de edificios, con el objetivo de minimizar su impacto ambiental, mejorar la eficiencia energética y promover la salud y el bienestar de los ocupantes (Kibert, 2016).

Entre los estándares más reconocidos a nivel internacional se encuentran LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) y DGNB (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*). Cada uno de estos sistemas aborda diferentes aspectos de la sostenibilidad en la construcción, proporcionando marcos estructurados para evaluar y certificar el desempeño ambiental, económico y social de los edificios.

LEED, desarrollado por el *U.S. Green Building Council*, es un sistema de certificación globalmente reconocido que evalúa los edificios en áreas como la eficiencia energética, el uso de agua, la selección de materiales y la calidad ambiental interior (USGBC, 2024).

Por otro lado, **BREEAM**, un estándar europeo establecido por el *Building Research Establishment* (BRE) del Reino Unido, mide la sostenibilidad en categorías como gestión, salud y bienestar, energía, transporte, agua, materiales, residuos y contaminación (BRE, 2021).

A su vez, **DGNB**, un sistema alemán desarrollado por la Sociedad Alemana para la Construcción Sostenible considera la calidad ecológica, económica, sociocultural y funcional de los edificios, evaluando su ciclo de vida y adaptabilidad futura (DGNB, 2021).

Estos estándares no solo proporcionan directrices para la construcción sostenible, sino que también ofrecen beneficios adicionales, como el reconocimiento en el mercado, la mejora de la imagen corporativa y la atracción de inversores y usuarios comprometidos con la sostenibilidad. Además, la implementación de estos estándares puede conducir a ahorros de costos operativos a largo plazo, gracias a la mayor eficiencia energética y al uso racional de los recursos (Ding, 2008).

Los estándares de construcción sostenible, como LEED, BREEAM y DGNB, desempeñan un papel fundamental en la promoción de prácticas sostenibles en la industria de la construcción. Al proporcionar criterios específicos y marcos de evaluación, estos estándares contribuyen a la creación de edificios más respetuosos con el medio ambiente, económicamente viables y socialmente responsables, abordando así los desafíos asociados a la sostenibilidad en el sector de la construcción.

2.3.1.1 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) es uno de los sistemas de certificación de edificios sostenibles más reconocidos a nivel mundial, liderado por el *U.S. Green Building Council* (USGBC). El objetivo principal de LEED es promover la construcción de edificios y comunidades más sostenibles, saludables y eficientes en el uso de recursos (USGBC, 2024).

Para obtener la certificación LEED en un proyecto de construcción, es necesario cumplir con una serie de requisitos y criterios establecidos por el sistema de evaluación LEED. Estos requisitos se agrupan en diferentes categorías que abarcan diversos aspectos de la sostenibilidad en los edificios, como sitios sustentables, eficiencia en el uso del agua, energía y atmósfera, materiales y recursos, calidad ambiental interior, innovación y proceso del diseño como se puede observar en la Figura 10. Este proceso de certificación implica una serie de pasos y requisitos que los proyectos deben cumplir para obtener el reconocimiento. Como se ilustra en la Figura 10, este proceso comienza con la elección del sistema de calificación adecuado para el proyecto, seguido del registro del edificio, la presentación de la documentación necesaria, la revisión de la documentación por parte del USGBC y, finalmente, la obtención del certificado LEED correspondiente al nivel alcanzado.

LEED utiliza un sistema de puntuación para evaluar el cumplimiento de los requisitos en estas categorías, otorgando diferentes niveles de certificación (Certificado, Plata, Oro y Platino) en función de la puntuación alcanzada. Además de cumplir con los requisitos específicos, el proceso de certificación LEED implica la presentación de documentación y evidencias, así como la revisión y verificación por parte de un organismo independiente acreditado por el USGBC.

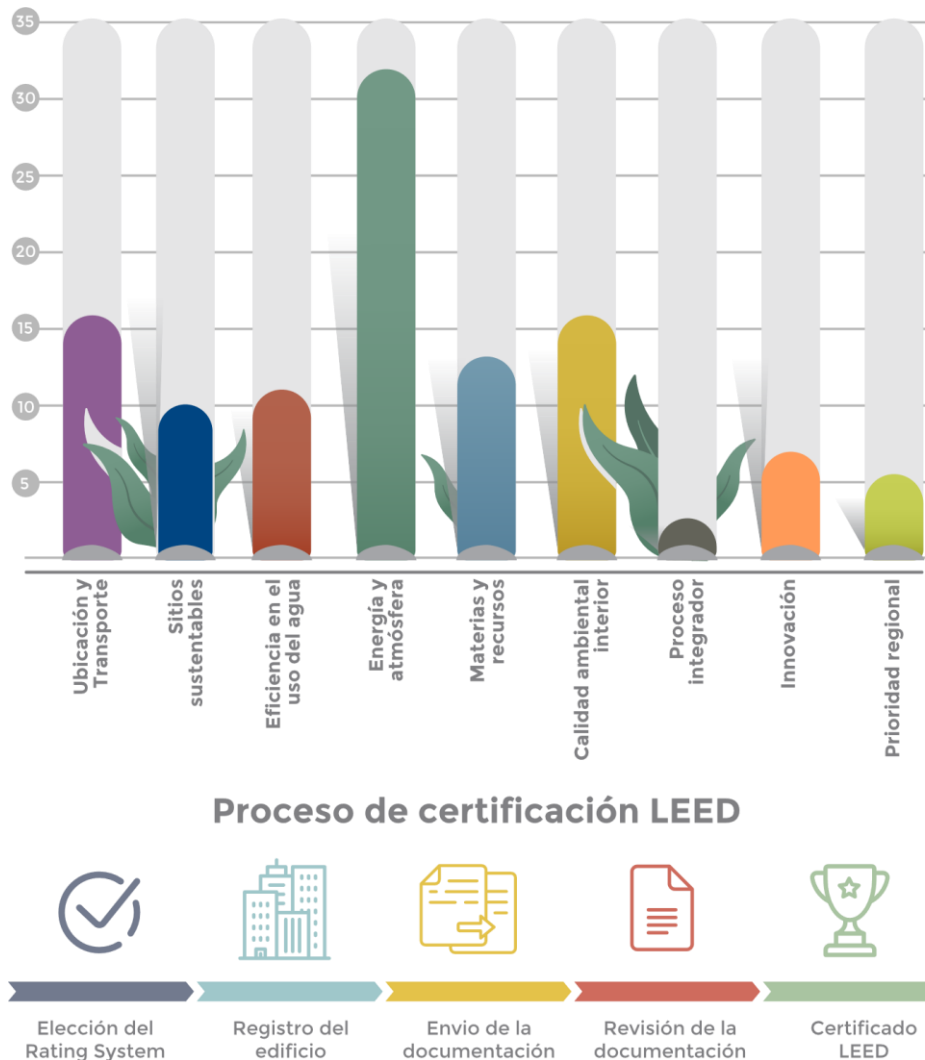


Figura 10. Puntos por categoría y Proceso LEED Fuente: Elaboración propia a partir de USGBC (2024)

La obtención de la certificación LEED en los proyectos de construcción habitacionales, puede ser un objetivo clave para asegurar la implementación de prácticas y estrategias de sostenibilidad en estos proyectos. Para lograrlo, es necesario presentar una amplia gama de documentación que respalde el cumplimiento de los requisitos y criterios establecidos por el sistema de evaluación, incluyendo documentos de diseño y planificación, documentos de construcción, documentos de operación y mantenimiento, y documentos adicionales relacionados con la sostenibilidad.

En la fase de diseño y planificación, se deben presentar planos arquitectónicos, estructurales y de instalaciones que incorporen estrategias de sostenibilidad, así como cálculos y análisis energéticos que respalden las decisiones de diseño. Además, es necesario desarrollar planes de gestión de residuos y materiales, así como estrategias de diseño sostenible que aborden aspectos como la eficiencia energética, el uso racional del agua y la calidad ambiental interior (USGBC, 2024).

Durante la fase de construcción, se requiere mantener un registro detallado de los materiales y productos utilizados, incluyendo certificados y etiquetas que acrediten su sostenibilidad. Asimismo, es importante documentar el progreso de la obra mediante informes de seguimiento, evidencias fotográficas y registros de buenas prácticas implementadas en el sitio de construcción.

Una vez que el edificio está en operación, se deben presentar manuales de operación y mantenimiento que garanticen el funcionamiento eficiente y sostenible de las instalaciones a largo del tiempo. Esto incluye planes de gestión de energía y agua, registros de consumo y emisiones, así como informes de desempeño energético y ambiental que permitan monitorear y optimizar el rendimiento del edificio (USGBC, 2024).

Además de la documentación técnica, es importante presentar evidencias de la participación comunitaria y los programas educativos relacionados con la sostenibilidad, así como políticas y procedimientos internos que reflejen el compromiso de la organización con los principios de la construcción sostenible.

Toda esta documentación debe ser recopilada, organizada y presentada de acuerdo con los formatos y requisitos establecidos por el USGBC, y será revisada por un equipo de auditores acreditados que verificarán el cumplimiento de los criterios LEED. Este proceso de revisión y verificación es esencial para garantizar la integridad y la credibilidad de la certificación.

Es importante destacar que la documentación no solo sirve para obtener la certificación LEED, sino que también es una herramienta valiosa para el equipo de proyecto, ya que permite identificar oportunidades de mejora, realizar un seguimiento del desempeño y comunicar de manera efectiva los logros y beneficios de la construcción sostenible a los diferentes *stakeholders*. El equipo de proyecto debe dedicar tiempo y recursos suficientes para recopilar y presentar esta documentación, asegurando así el éxito en el proceso de certificación y el logro de los objetivos de sostenibilidad.

La calificación y el nivel de certificación LEED se generan en base a un sistema de puntuación que asigna valores específicos a cada requisito o crédito cumplido dentro de las diferentes categorías. A continuación, se presenta una tabla que resume las categorías, el posible puntaje y las características o descripción de cada una (Tabla 1):

Tabla 1. Categorías y Puntajes LEED. Fuente: Elaboración Propia a partir de USGBC (2021)

Categoría	Posible Puntaje	Característica
Ubicación y Transporte	16 puntos	Acceso a transporte público, infraestructura peatonal y de bicicletas, proximidad a servicios básicos, gestión de vehículos y capacidad de estacionamiento.
Sitios sustentables	10 puntos	Selección del sitio, densidad de desarrollo, protección de hábitats, transporte alternativo, manejo de aguas pluviales.
Eficiencia en el uso del agua	11 puntos	Paisajismo eficiente, reducción del consumo de agua en interior y exterior, medición del consumo de agua.
Energía y atmósfera	33 puntos	Optimización del rendimiento energético, uso de energías renovables, mejora de la refrigeración, medición y verificación energética.
Materiales y recursos	13 puntos	Uso de materiales reciclados, materiales regionales, gestión de residuos de construcción y demolición.
Calidad ambiental interior	16 puntos	Monitoreo del aire interior, control de fuentes contaminantes, iluminación natural, comodidad térmica.
Proceso Integrador	1 punto	Implementación de un proceso de diseño y construcción integrado, involucrando a todos los stakeholders y fomentando la colaboración efectiva.
Innovación	6 puntos	Implementación de estrategias innovadoras y procesos de diseño integrado.
Prioridad regional	4 puntos	Abordaje de prioridades ambientales específicas de la región

El máximo puntaje posible es de 110 puntos, y los niveles de certificación se otorgan de la siguiente manera: Certificado (40-49 puntos), Plata (50-59 puntos), Oro (60-79 puntos) y Platino (80 puntos o más). Es importante destacar que algunos créditos son prerequisites obligatorios y no otorgan puntos, pero son necesarios para poder optar a la certificación.

El equipo de proyecto debe analizar cuidadosamente cada categoría y crédito, evaluando las estrategias más factibles y rentables para maximizar la puntuación y alcanzar el nivel de certificación deseado. Esto requiere un diseño y planificación minuciosos, así como la implementación efectiva de prácticas sostenibles durante la construcción y operación del edificio.

En resumen, LEED es un sistema de certificación de edificios sostenibles altamente reconocido y respetado a nivel internacional. Su enfoque integral, basado en diferentes categorías y criterios de sostenibilidad, proporciona un marco estructurado para diseñar, construir y operar edificios más respetuosos con el medio ambiente, saludables y eficientes en el uso de recursos. La obtención de la certificación LEED en los proyectos de construcción habitacional en México, puede ser un objetivo estratégico para demostrar el compromiso con la sostenibilidad y obtener los beneficios asociados a este reconocimiento.

2.3.1.2 BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), desarrollado por el *Building Research Establishment* (BRE) en el Reino Unido, es uno de los sistemas de evaluación y certificación de sostenibilidad en la construcción más antiguos y reconocidos internacionalmente. Su enfoque principal es evaluar el desempeño ambiental de un edificio considerando todo su ciclo de vida, desde la fase de diseño hasta la construcción, operación y mantenimiento (BRE, 2021).

El método de evaluación BREEAM se basa en una serie de categorías y créditos que cubren diversos aspectos de la sostenibilidad, como la gestión, la salud y el bienestar, la energía, el transporte, el agua, los materiales, los residuos, el uso del suelo y la ecología, la contaminación y la innovación como se pueden observar en la Figura 11. Cada una de estas categorías aborda

aspectos específicos de la sostenibilidad, como la implementación de prácticas de gestión sostenible durante el proceso de construcción, la calidad del aire interior, la eficiencia energética, el uso de materiales sostenibles y la protección de la biodiversidad, entre otros.

BREEAM utiliza un sistema de puntuación ponderada para evaluar el cumplimiento de los créditos en cada categoría, otorgando diferentes niveles de certificación según la puntuación total obtenida. Estos niveles incluyen Aprobado (30% de la puntuación disponible), Bueno (45%), Muy Bueno (55%), Excelente (70%) y Excepcional (85%).

Para obtener la certificación BREEAM, es necesario presentar una serie de documentos y evidencias que respalden el cumplimiento de los requisitos y créditos. Estos documentos abarcan las diferentes etapas del proyecto, desde el diseño hasta la operación, e incluyen planos, especificaciones técnicas, registros de materiales, informes de obra, manuales de mantenimiento y evaluaciones realizadas por evaluadores acreditados por BREEAM.

El proceso de certificación BREEAM implica varias etapas, comenzando con el registro del proyecto ante el organismo certificador, seguido de la evaluación de la documentación y evidencias por parte de un evaluador acreditado, visitas de inspección al sitio de construcción y, finalmente, la verificación y otorgamiento de la certificación correspondiente.

Es importante destacar que BREEAM tiene diferentes esquemas de certificación adaptados a diferentes tipos de edificios, cada uno con sus propios criterios y ponderaciones, lo que permite una evaluación más precisa y adaptada a las características específicas de cada proyecto.



hidrologiasostenible.com

Figura 11. Categorías BREEAM. Fuente: Hidrología Sostenible (2020)

A continuación, se presenta la Tabla 2 que resume las categorías, el posible puntaje y las características o descripción de cada una en el sistema de certificación BREEAM.

Tabla 2. Categorías y Porcentajes BREEAM. Fuente: Elaboración Propia a partir de Instituto Tecnológico de Galicia (2020)

Categoría	Peso en Porcentaje	Característica
Gestión	12.0%	Implementación de prácticas de gestión sostenible durante el proceso de construcción.
Salud y bienestar	15.0%	Calidad del aire interior, confort térmico, iluminación natural y accesibilidad.
Energía	19.0%	Eficiencia energética, uso de energías renovables y reducción de emisiones de carbono.
Transporte	8.0%	Adopción de soluciones de transporte sostenibles y reducción de las emisiones relacionadas.
Agua	6.0%	Uso eficiente del agua y implementación de sistemas de gestión de aguas pluviales.
Materiales	12.5%	Uso de materiales sostenibles, reciclados y de bajo impacto ambiental.
Residuos	7.5%	Reducción, reutilización y reciclaje de residuos de construcción y demolición.
Uso del suelo y ecología	10.0%	Protección y mejora de la ecología del sitio y su biodiversidad.
Contaminación	10.0%	Prevención y control de la contaminación del aire, el agua y el suelo.
Innovación	10.0%	Implementación de estrategias innovadoras en materia de sostenibilidad.

En resumen, BREEAM es un sistema integral de evaluación y certificación de la sostenibilidad en la construcción que abarca 10 categorías clave y utiliza un sistema de puntuación ponderada para otorgar diferentes niveles de certificación según el desempeño ambiental del edificio. Su enfoque holístico y adaptado a diferentes tipos de edificios lo convierte en una herramienta valiosa para promover y reconocer la construcción sostenible a nivel internacional.

2.3.1.3 DGNB (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*)

El sistema de certificación de sostenibilidad en la construcción DGNB, desarrollado por la Sociedad Alemana para la Construcción Sostenible, se fundamenta en un enfoque integral que evalúa la sostenibilidad de los edificios considerando seis áreas clave: calidad ambiental, económica, sociocultural y funcional, técnica, procesos y emplazamiento (DGNB, 2020). Este enfoque holístico permite una evaluación exhaustiva de la sostenibilidad a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, desde la planificación hasta la demolición.

El sistema DGNB se caracteriza por varios aspectos destacados. En primer lugar, adopta un enfoque integral, evaluando la sostenibilidad de los edificios desde una perspectiva multidimensional que abarca no solo los aspectos ambientales, sino también los económicos, socioculturales, funcionales y técnicos. Además, el análisis de sostenibilidad se realiza considerando el ciclo de vida completo del edificio, desde la planificación y el diseño hasta la construcción, operación y demolición.

DGNB establece una serie de criterios y requisitos específicos para cada una de las seis áreas clave, los cuales son evaluados y calificados mediante un sistema de puntuación ponderado. El proceso de certificación implica la auditoría y verificación por parte de un organismo independiente, garantizando así la transparencia y la calidad de la evaluación. Otra característica notable del sistema DGNB es su flexibilidad y adaptabilidad, ya que puede ser ajustado a diferentes tipos de edificios y proyectos, permitiendo ponderaciones específicas según las características y requisitos particulares de cada caso.

Los niveles de certificación DGNB reflejan el grado de sostenibilidad alcanzado por un edificio o proyecto según la evaluación realizada. Cada nivel representa un rango de puntuación obtenido en la evaluación de los criterios de sostenibilidad establecidos por DGNB. Los cuatro niveles de certificación son: Bronce (35-49.9% de la puntuación total), Plata (50-64.9% de la puntuación total), Oro (65-79.9% de la puntuación total) y Platino (80% o más de la puntuación total). Es importante destacar que los rangos de puntuación para cada nivel de certificación pueden variar ligeramente según la versión y el esquema específico de DGNB utilizado, ya que el sistema se actualiza periódicamente para reflejar los avances en la construcción sostenible y las demandas cambiantes del mercado (DGNB, 2020).

Además de los cuatro niveles principales de certificación, DGNB también ofrece reconocimientos adicionales para aspectos específicos de sostenibilidad, como la calidad del aire interior, la eficiencia energética o la gestión del agua, entre otros. Estos reconocimientos se otorgan en forma de "hojas" o "sellos" adicionales que complementan el certificado principal (DGNB, 2020).

Las ponderaciones de las diferentes categorías de calidad en el sistema DGNB reflejan su enfoque holístico y orientado al ciclo de vida. Como se puede observar en la Figura 12, el sistema DGNB otorga el mismo peso (22,5% cada uno) a la calidad ambiental, la calidad económica y la calidad sociocultural y funcional. La calidad técnica representa el 15%, mientras que la calidad del proceso y la calidad del sitio tienen una ponderación del 12,5% y 5%, respectivamente. Esta distribución equilibrada de pesos asegura que todos los aspectos de la sostenibilidad de un edificio reciban la debida consideración, y que ningún factor único domine la evaluación. También refleja el reconocimiento del sistema DGNB de que la sostenibilidad no se trata solo del desempeño ambiental, sino también de crear edificios que sean económicamente viables, socialmente responsables y funcionalmente optimizados.



Figura 12. Áreas DGNB. Fuente: DGNB (2020).

Para obtener la certificación DGNB, es necesario seguir un proceso de evaluación exhaustivo que implica la presentación de diversos documentos y evidencias, así como la realización de auditorías y verificaciones por parte de profesionales acreditados. El proceso comienza con el registro del proyecto en el sistema DGNB, proporcionando información básica y designando un auditor o asesor acreditado para guiar y supervisar el proceso de certificación. A continuación, el equipo del proyecto debe recopilar y presentar una amplia gama de documentos y evidencias que respalden la evaluación de los criterios de sostenibilidad, incluyendo planos, especificaciones técnicas, cálculos de eficiencia energética, informes de análisis de ciclo de vida, planes de gestión de residuos y reciclaje, documentación sobre la calidad del aire interior y el confort térmico, y evidencias de la participación de los interesados y la comunicación con la comunidad (DGNB, 2020).

El auditor acreditado por DGNB revisa y verifica la documentación presentada, asegurando que cumpla con los requisitos y estándares establecidos. Se realiza una evaluación detallada del edificio o proyecto según los criterios de sostenibilidad de DGNB, considerando las seis áreas clave. El auditor puede solicitar información adicional o aclaraciones si es necesario, y se llevan a cabo visitas al sitio y auditorías in situ para verificar la implementación de las medidas de sostenibilidad y el cumplimiento de los criterios.

Una vez completada la evaluación, el auditor elabora un informe detallado que presenta los resultados y la puntuación obtenida en cada área clave, destacando las fortalezas y las áreas de mejora del proyecto en términos de sostenibilidad. Se proporciona una puntuación total que determina el nivel de certificación alcanzado (Bronce, Plata, Oro o Platino). El informe de evaluación y la documentación completa se presentan a DGNB para su revisión final, y si se cumplen todos los requisitos y se alcanza una puntuación suficiente, se otorga el certificado DGNB correspondiente al nivel alcanzado. El certificado tiene una validez de tres años, después de lo cual se requiere una recertificación para mantener el estatus de edificio o proyecto certificado por DGNB (DGNB, 2020).

A continuación, se presenta una tabla que resume las categorías, el porcentaje de evaluación y las características o descripción de cada una en el sistema de certificación DGNB (Tabla 3):

Tabla 3. Categorías y Puntajes DGNB. Fuente: Elaboración Propia a partir de DGNB (2020).

Categoría	Porcentaje de Evaluación	Característica o Descripción
Calidad Ambiental	22.5%	Evaluación del impacto ambiental del edificio, incluyendo aspectos como la eficiencia energética, el uso de recursos y la reducción de emisiones.
Calidad Económica	22.5%	Análisis de la viabilidad económica del proyecto, considerando los costos de ciclo de vida, la rentabilidad y la creación de valor a largo plazo.
Calidad Sociocultural y Funcional	22.5%	Evaluación de la calidad de vida de los ocupantes, la accesibilidad, la integración social y la adaptabilidad del edificio a diferentes usos y necesidades.
Calidad Técnica	15.0%	Análisis de la calidad de la construcción, la durabilidad, la facilidad de mantenimiento y la resiliencia del edificio.
Calidad del Proceso	12.5%	Evaluación de la gestión del proyecto, la participación de los interesados, la comunicación y la documentación a lo largo del proceso de construcción.
Calidad del Emplazamiento	5.0%	Análisis de la ubicación del proyecto, considerando aspectos como la conectividad, el acceso a servicios y la integración con el entorno.

En resumen, el sistema de certificación DGNB ofrece un enfoque integral y equilibrado para evaluar la sostenibilidad de los edificios, considerando múltiples aspectos a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Su proceso de certificación riguroso, basado en la presentación de evidencias y la verificación por parte de profesionales acreditados, garantiza la transparencia y la calidad de la evaluación. La obtención de la certificación DGNB demuestra un compromiso sólido con la

sostenibilidad y la excelencia en la construcción, y brinda reconocimiento a los proyectos que alcanzan altos niveles de desempeño en las diferentes áreas de sostenibilidad.

2.3.2. Revisión de Proyectos Sostenibles

La construcción habitacional sostenible ha ganado relevancia a nivel global en las últimas décadas, y diversos proyectos alrededor del mundo han demostrado la viabilidad y los beneficios de integrar principios de sostenibilidad (Kibert, 2016) y metodologías innovadoras, como *Lean Construction* (Koskela, 1992, 2000), en la gestión de estos proyectos. A continuación, se presentan tres casos de estudio que ejemplifican la aplicación exitosa de estos enfoques en diferentes contextos.

El primer proyecto para analizar es la **Casa en Saint-Simeon**, diseñada por *Architecture Casa* y ubicada en la región de Charlevoix, Canadá. Este proyecto se destaca por su armonía con el entorno natural, al estar construido directamente sobre un terreno rocoso junto al río San Lorenzo. La cimentación se basa en hojas de concreto paralelas, permitiendo que el agua fluya de manera natural debajo del edificio. Además, se emplearon paneles de madera de laminado cruzado, que ofrecen rigidez y cumplen con los requisitos sísmicos de la región (Architecture Casa, 2016).

El segundo proyecto es la **Casa DaB**, diseñada por BAM Arquitectura y ubicada en las afueras de Buenos Aires, Argentina. Este proyecto enfrenta el desafío de optimizar los metros cuadrados en un lote de dimensiones acotadas, al tiempo que busca generar un diálogo entre los materiales y la luz. La organización del programa en dos plantas permite una clara diferenciación entre los espacios públicos y privados, y la selección de materiales nobles con líneas puras y simples, como el hormigón, el ladrillo, la madera y el hierro, permite que la luz y la naturaleza se conviertan en protagonistas del proyecto (BAM! Arquitectura, 2019).

Por último, se presenta la **Cabaña en el Lago San Pablo**, ubicada en Imbabura, Ecuador, y diseñada por el arquitecto Gustavo Saltos. Este proyecto busca comprender y valorar los procesos constructivos tradicionales, así como el uso de materiales naturales como la madera. La Cabaña en el Lago San Pablo se asienta en un entorno natural privilegiado, y su diseño pretende causar el menor impacto ambiental posible, empleando estrategias como la utilización de una estructura sin hormigón, con columnas metálicas que descansan sobre placas planas y separan la casa del suelo (ERDC arquitectos, 2019).

Estos tres proyectos, aunque ubicados en diferentes partes del mundo y con características únicas, comparten el objetivo común de integrar principios de sostenibilidad y metodologías innovadoras en la gestión de la construcción habitacional. A través del análisis de estos casos de estudio, se busca identificar las mejores prácticas y lecciones aprendidas que puedan ser aplicadas en nuevos contextos, con el fin de promover un desarrollo habitacional más sostenible y eficiente.

2.3.2.1 Casa en Saint-Simeon / Architecture Casa

En el ámbito de la construcción habitacional sostenible, es fundamental explorar casos de estudio que ejemplifiquen la aplicación exitosa de metodologías innovadoras, como *Lean Construction*. Un proyecto destacado en este sentido es la Casa en Saint-Simeon que se ilustra en la Figura 13, diseñada por Architecture Casa y ubicada en la región de Charlevoix, Canadá (Architecture Casa, 2016).

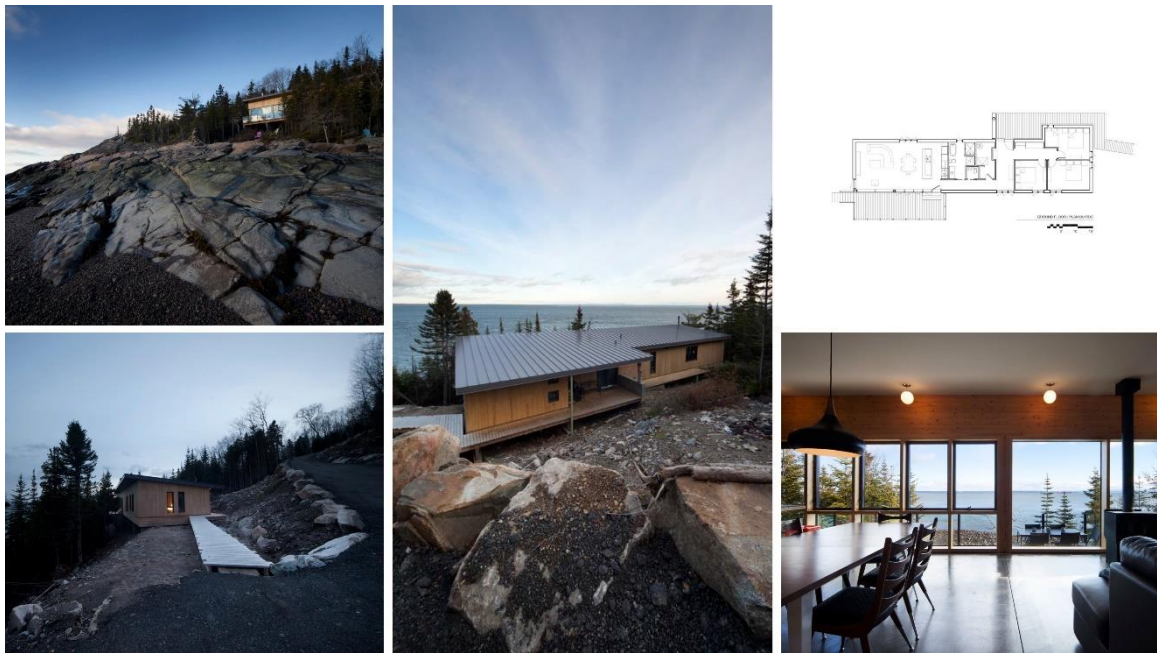


Figura 13. Casa en Saint-Simeon. Fuente: Architecture Casa (2016).

Este proyecto se distingue por su armonía con el entorno natural, al estar construido directamente sobre un terreno rocoso junto al río San Lorenzo. La cimentación se basa en hojas de concreto paralelas, permitiendo que el agua fluya de manera natural debajo del edificio (Arellano, 2016). Además, se emplearon paneles de madera de laminado cruzado, que ofrecen rigidez y cumplen con los requisitos sísmicos de la región (Architecture Casa, 2016).

La sostenibilidad del proyecto se ve reflejada en diversas características, como la losa de concreto radiante, el muro cortina de madera orientado hacia el sureste, los aleros del techo de gran tamaño, la permeabilidad al aire y la calidad de aislamiento (Architecture Casa, 2016). Estas medidas no solo proporcionan comodidad a los ocupantes, sino que también pueden aspirar a la obtención de la certificación LEED ORO (Architecture Casa, 2016), un reconocido estándar de construcción sostenible.

En línea con los principios de *Lean Construction*, se adoptó un enfoque eco-responsable al recuperar y reutilizar elementos de otras construcciones, como un antiguo convento (Architecture Casa, 2016). Esta práctica se alinea con la filosofía de reducir desperdicios y optimizar recursos. Además, se optó por un diseño de un solo nivel para simplificar los espacios y crear una segregación entre las áreas de descanso y estancia (Architecture Casa, 2016), lo que facilita el flujo de trabajo y la eficiencia durante la construcción.

La Casa en Saint-Simeon fue diseñada para ser alquilada, lo que impulsó la decisión de crear espacios fluidos y simplificados (Architecture Casa, 2016). Este enfoque no solo mejora la experiencia de los usuarios, sino que también se alinea con los principios de *Lean Construction* al reducir la complejidad y optimizar la funcionalidad.

El proyecto Casa en Saint-Simeon demuestra cómo la aplicación de principios de *Lean Construction* puede integrarse exitosamente en la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible. Al priorizar la armonía con el entorno, emplear materiales y técnicas sostenibles, y adoptar un enfoque de eficiencia y reducción de desperdicios, este caso de estudio sienta un precedente inspirador para futuras iniciativas en el sector.

2.3.2.2 Casa DaB / BAM! arquitectura

La construcción habitacional sostenible ha ganado importancia en los últimos años, y un ejemplo destacado de su aplicación es la Casa DaB ilustrada en la Figura 14, diseñada por BAM Arquitectura y ubicada en las afueras de Buenos Aires, Argentina (BAM! Arquitectura, 2019). Este proyecto enfrenta el desafío de optimizar los metros cuadrados en un lote de dimensiones acotadas, al tiempo que busca generar un diálogo entre los materiales y la luz.

La organización del programa en dos plantas permite una clara diferenciación entre los espacios públicos y privados. En la planta baja, los espacios de carácter público se vinculan directamente con el jardín, mientras que en la planta alta, los espacios privados se relacionan con una terraza jardín que actúa como mirador y espacio de contemplación de la naturaleza (BAM! Arquitectura, 2019). Esta disposición eficiente de los espacios se alinea con los principios de *Lean Construction*, que buscan optimizar los recursos y reducir los desperdicios.

La selección de materiales nobles con líneas puras y simples, como el hormigón, el ladrillo, la madera y el hierro, permite que la luz y la naturaleza se conviertan en protagonistas del proyecto (BAM! Arquitectura, 2019). La luz natural se utiliza de manera directa e indirecta, con tamices y filtros que generan diferentes atmósferas a lo largo del día. Esta atención a la iluminación natural no solo mejora el confort de los habitantes, sino que también contribuye a la eficiencia energética del proyecto.



Figura 14. Casa DaB. Fuente: BAM Arquitectura (2019).

La Casa DaB aborda la sostenibilidad desde múltiples aspectos, comenzando por la elección del terreno y la implantación en el mismo, considerando las orientaciones y los vientos predominantes (BAM! Arquitectura, 2019). Se incorporan estrategias como la utilización de una cubierta verde, la reducción del consumo de agua mediante la recolección de agua de lluvia para riego y el uso de artefactos de bajo consumo, así como la implementación de un sistema de calefacción y refrigeración por geotermia (BAM! Arquitectura, 2019). Estas medidas se alinean con los estándares de construcción sostenible y contribuyen a la eficiencia energética y al cuidado del medio ambiente.

En conclusión, la Casa DaB es un ejemplo notable de cómo los principios de *Lean Construction* y la sostenibilidad pueden integrarse exitosamente en la gestión de proyectos de construcción habitacional. Al optimizar los recursos, reducir los desperdicios y priorizar estrategias sostenibles, este proyecto demuestra que es posible lograr un equilibrio entre la funcionalidad, la estética y el respeto por el medio ambiente. Este enfoque puede servir como inspiración para futuros proyectos habitacionales sostenibles en otros contextos similares.

2.3.2.3 Cabaña WUK 01 / ERDC arquitectos

La construcción sostenible ha ganado terreno en los últimos años, y un ejemplo destacado de su aplicación es la Cabaña WUK 01 que se ilustra en la Figura 15, ubicada en Papallacta, Ecuador (ERDC arquitectos, 2019). Este proyecto, diseñado por el estudio ERDC arquitectos, buscando comprender y valorar los procesos constructivos tradicionales, así como el uso de materiales naturales como la madera.



Figura 15. Cabaña WUK 01. Fuente: ERDC arquitectos (2019)

La Cabaña en el Lago San Pablo se asienta en un entorno natural privilegiado, y su diseño pretende causar el menor impacto ambiental posible. Para lograrlo, se emplean estrategias como la utilización de una estructura sin hormigón, con columnas metálicas que descansan sobre placas planas y separan la casa del suelo (ERDC arquitectos, 2019). Además, todas las piezas son modulares y desensamblables, permitiendo que, al final de su ciclo de vida, la cabaña pueda ser desmontada sin afectar la naturaleza circundante.

La eficiencia energética es otro aspecto clave del proyecto. La calefacción aprovecha la energía geotérmica, conduciendo agua por el piso de la casa y almacenándola en una capa de hormigón que actúa como masa térmica. Asimismo, se utiliza agua fría de una vertiente natural y agua caliente de un ojo termal para lograr una temperatura agradable en el interior. Las aguas grises se devuelven a la tierra, mientras que las aguas negras se tratan en un biodigestor (ERDC arquitectos, 2019). Estas

medidas se alinean con los principios de la construcción sostenible y contribuyen a reducir el impacto ambiental del proyecto.

El material predominante en la Cabaña en el Lago San Pablo es la madera de pino, que representa el 90% del total utilizado. Se emplea madera sólida para la estructura de piso, paredes, cerchas y entrepiso, mientras que los tableros de OSB se utilizan como recubrimiento interno y externo de los paneles. Además, se utilizan duelas recicladas, quemadas y cepilladas para proteger la estructura de la lluvia (ERDC arquitectos, 2019). Esta elección de materiales no solo contribuye a la sostenibilidad del proyecto, sino que también crea una atmósfera acogedora y conectada con la naturaleza.

Por lo tanto, la Cabaña en el Lago San Pablo es un ejemplo inspirador de cómo los principios de la construcción sostenible pueden aplicarse en proyectos habitacionales. Al priorizar el uso de materiales naturales, minimizar el impacto ambiental y aprovechar estrategias de eficiencia energética, este proyecto demuestra que es posible crear espacios habitables en armonía con el entorno.

Capítulo 3 FUNDAMENTOS Y SELECCIÓN METODOLÓGICA

En el capítulo anterior se llevó a cabo una revisión de diversas metodologías, estándares, certificaciones y herramientas relevantes para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible. A través de este análisis, se identificaron aquellos enfoques que presentan el mayor potencial para abordar los desafíos específicos de este tipo de proyectos y para integrar de manera efectiva los principios de sostenibilidad en su gestión.

Tras una evaluación, se ha determinado que la metodología PM², las herramientas de *Lean Construction* y la certificación LEED constituyen la combinación óptima para el propósito de este trabajo. Estos tres pilares fundamentales se destacan por su capacidad para mejorar la eficiencia, la calidad y el desempeño ambiental de los proyectos, al tiempo que promueven la colaboración, la innovación y la entrega de valor sostenible.

PM², como metodología de gestión de proyectos, proporciona un marco estructurado y adaptable que permite una dirección eficaz del proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida. Sus procesos, artefactos y buenas prácticas facilitan la planificación, ejecución, seguimiento y control de los proyectos, asegurando la alineación con los objetivos estratégicos y la satisfacción de las partes interesadas (Comisión Europea, 2021).

Por su parte, *Lean Construction* ofrece un conjunto de principios, herramientas y técnicas que se enfocan en la eliminación de desperdicios, la optimización del flujo de trabajo y la maximización del valor para el cliente. Al integrar estos conceptos en la gestión del proyecto, se busca mejorar la productividad, reducir los costos y plazos, y fomentar una cultura de mejora continua y aprendizaje colaborativo (Ballard & Howell, 1998).

Finalmente, la certificación LEED se ha convertido en un referente global para evaluar y reconocer el desempeño ambiental de los edificios. Sus criterios y requisitos abarcan diversos aspectos de la sostenibilidad, como la eficiencia energética, el uso racional del agua, la selección de materiales y la calidad ambiental interior. Al incorporar los estándares LEED en los objetivos y planes del proyecto, se asegura que los entregables finales cumplan con altos niveles de sostenibilidad y contribuyan a la mitigación del impacto ambiental (USGBC, 2024).

En las siguientes secciones, se profundizará en cada uno de estos tres elementos seleccionados, explorando sus fundamentos y características clave. Se desarrollarán las bases de cómo PM², *Lean Construction* y LEED pueden integrarse de manera sinérgica para potenciar la gestión efectiva de estos proyectos, maximizando los beneficios y resultados sostenibles.

3.1 PM²

La selección de la metodología PM² como base para la propuesta de gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible se fundamenta en su capacidad para adaptarse a las necesidades específicas de este tipo de proyectos y su potencial para integrar enfoques ágiles y tradicionales (Comisión Europea, 2021).

Una de las principales razones para elegir PM² es su enfoque en la entrega de valor y la satisfacción del cliente. En el contexto de la construcción sostenible, esto implica no solo cumplir con los requisitos funcionales y de calidad, sino también considerar los aspectos ambientales, sociales y económicos que definen la sostenibilidad. PM², con su énfasis en la planificación orientada a objetivos y la gestión de beneficios, proporciona un marco adecuado para alinear los proyectos con estas metas sostenibles (Alexandrova & Kuzmanova, 2017).

Además, PM² se destaca por su flexibilidad y escalabilidad (Kaczorowska et al., 2016). Esto es especialmente relevante en el ámbito de la construcción habitacional sostenible, donde los proyectos pueden variar en tamaño, complejidad y requerimientos específicos. La capacidad de PM² para adaptarse a diferentes contextos y necesidades permite su aplicación efectiva en una amplia gama de iniciativas, desde pequeños desarrollos hasta grandes proyectos de vivienda sostenible.

Otro factor clave para seleccionar PM² es su orientación hacia la mejora continua y la gestión del conocimiento. En un campo en constante evolución como la construcción sostenible, es fundamental contar con mecanismos para capturar y aplicar las lecciones aprendidas y las mejores prácticas. PM², con sus procesos de cierre de proyecto y su énfasis en la documentación y difusión del conocimiento, favorece el aprendizaje organizacional y la mejora continua en la gestión de proyectos sostenibles (Tarwani & Chug, 2019).

PM² se seleccionó como metodología base debido a su capacidad para adaptarse a las necesidades específicas de los proyectos de construcción habitacional sostenible, su enfoque en la entrega de valor y satisfacción del cliente, su flexibilidad y escalabilidad, y su orientación hacia la mejora continua y la gestión del conocimiento. Estas características convierten a PM² en una plataforma sólida sobre la cual integrar los principios de *Lean Construction* y el estándar/certificación LEED, potenciando así la gestión efectiva y sostenible de estos proyectos.

3.1.1. Fase de Inicio

La Fase de Inicio es el punto de partida fundamental en un proyecto PM². Su objetivo central es establecer las bases sobre las cuales se desarrollará el proyecto. En esta fase, se define con precisión el propósito del proyecto, formulando claramente su objetivo. Además, se lleva a cabo una planificación inicial crucial para asegurar que el proyecto comience de manera efectiva y organizada. Finalmente, se recopila y presenta toda la información necesaria para obtener la aprobación del proyecto por parte de las entidades pertinentes. Este conjunto de actividades garantiza que el proyecto arranque con una dirección clara y el respaldo institucional necesario (Comisión Europea, 2021).

Durante esta fase, las personas involucradas formulan los objetivos del proyecto, aseguran su alineación con los objetivos estratégicos de la organización, acometen una planificación inicial y recopilan la información necesaria para obtener la aprobación y proceder a la Fase de Planificación (Comisión Europea, 2021).

Las principales actividades que se llevan a cabo en la Fase de Inicio, junto con los principales entregables generados, se muestran en la Figura 16:

A continuación se enlistan tres artefactos clave del proyecto se crean durante la Fase de Inicio:

1. Solicitud de Inicio de Proyecto: Formaliza el arranque del proyecto. Contiene información sobre el solicitante, las necesidades de negocio y los resultados deseados del proyecto.
2. Caso de Negocio: Proporciona la justificación del proyecto y define sus requisitos presupuestarios. Cubre el contexto del negocio, la descripción del problema, la descripción del proyecto, las posibles soluciones alternativas, el coste y el cronograma.



Figura 16. Actividades y principales entregables de la Fase de Inicio Fuente: Comisión Europea (2021)

3. Acta de Constitución del Proyecto: Proporciona mayor nivel de detalle sobre la definición del proyecto en términos de alcance, costes, tiempo y riesgo. También define hitos, entregables, la organización del proyecto, etc. (Comisión Europea, 2021).

El Caso de Negocio y el Acta de Constitución del Proyecto definen el alcance y la dirección del proyecto. Ambos son usados y tomados como referencia por el Director de Proyecto (DP) y el Equipo Central del Proyecto (ECP) durante todo el proyecto (Comisión Europea, 2021).

Al final de la Fase de Inicio, el Comité de Dirección del Proyecto (CDP) u otro Órgano de Gobernanza Pertinente (OGP) revisa estos documentos y decide si permite que el proyecto siga adelante a la siguiente fase (Comisión Europea, 2021).

Resumiendo, la Fase de Inicio sienta las bases para el éxito del proyecto al definir claramente sus objetivos, alcance y restricciones iniciales, asegurar su alineación estratégica, e involucrar a los interesados clave para obtener su aprobación y compromiso desde el comienzo. Una adecuada ejecución de esta fase es crítica para el posterior desarrollo exitoso del proyecto.

3.1.2. Fase de Planeación

La Fase de Planificación es la segunda fase en un proyecto PM². Su objetivo principal es verificar los aspectos centrales del proyecto y desarrollar un plan viable para su implementación (Comisión Europea, 2021). Durante esta fase, el objetivo del proyecto se desarrolla en un plan específico y práctico listo para ser ejecutado.

La Fase de Planificación comienza con una Reunión de Inicio oficial. Las principales actividades que se llevan a cabo en esta fase, junto con los principales entregables generados, se muestran en el diagrama de la Figura 17.

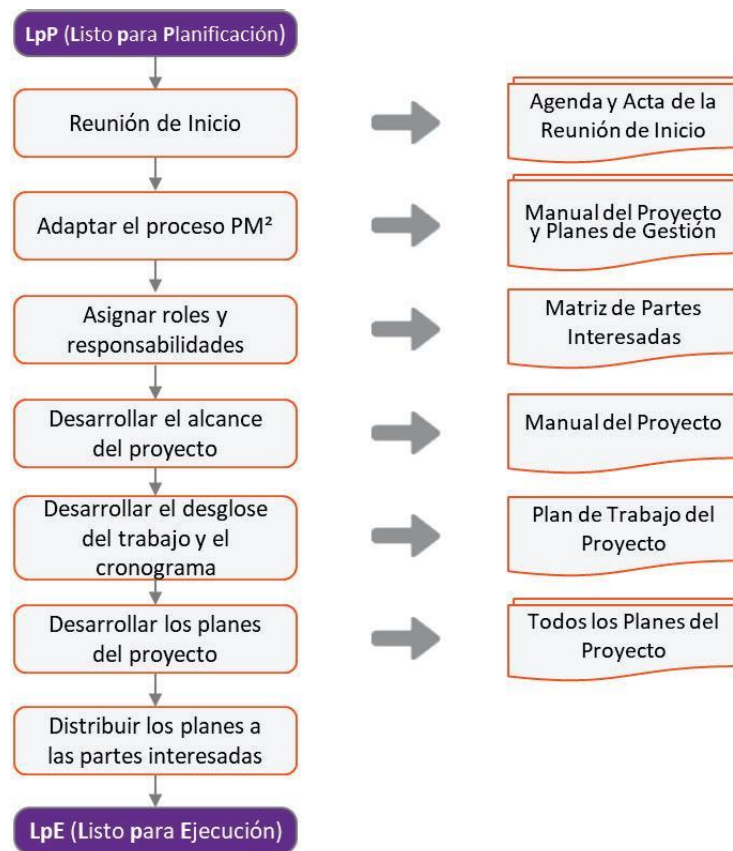


Figura 17. Actividades y principales entregables de la Fase de Planificación Fuente: Comisión Europea (2021)

Como se puede observar, las actividades clave de la Fase de Planificación incluyen las enlistadas a continuación:

1. Realización de la Reunión de Inicio de Planificación, para iniciar oficialmente la fase.
2. Creación del Manual del Proyecto, que define el enfoque de gestión del proyecto
3. Preparación de la Matriz de Partes Interesadas del Proyecto, que identifica a todas las partes interesadas.
4. Desarrollo del Plan de Trabajo del Proyecto, que incluye el Desglose del Trabajo, las estimaciones de Esfuerzo y Costes, y el Cronograma.
5. Creación de otros planes importantes, como el Plan de Gestión de las Comunicaciones, el Plan de Transición y el Plan de Implementación en el Negocio.

El Manual del Proyecto resume los objetivos del proyecto y documenta el enfoque seleccionado para lograrlos. Es uno de los primeros artefactos creados en esta fase.

El Plan de Trabajo del Proyecto elabora aún más el alcance del proyecto e identifica y organiza el trabajo y los entregables necesarios para lograr los objetivos. Establece una base sobre la cual estimar la duración, los recursos requeridos y programar el trabajo (Comisión Europea, 2021).

Además de estos artefactos clave, durante la Fase de Planificación se desarrollan varios planes específicos del proyecto según sus necesidades, así como los Planes de Gestión estándar de PM² (p.ej. Gestión de Riesgos, Calidad, Comunicaciones, etc.) ya sea como documentos independientes o como parte del Manual del Proyecto (Comisión Europea, 2021).

Al final de la Fase de Planificación, el Director de Proyecto (DP) utiliza las salidas generadas para solicitar la aprobación del Comité de Dirección del Proyecto (CDP) y pasar a la siguiente Fase de Ejecución.

A grandes rasgos, la Fase de Planificación es crucial para sentar las bases de una ejecución exitosa del proyecto. A través del desarrollo detallado de planes realistas y completos, alineados con los objetivos y el alcance definidos, el equipo se prepara para afrontar eficazmente los desafíos de las siguientes fases.

3.1.3. Fase de Ejecución

La Fase de Ejecución es la tercera fase en un proyecto PM². Durante esta fase, el equipo del proyecto produce los entregables (productos) según se define en el Plan de Trabajo del Proyecto. Esta es, generalmente, la etapa del ciclo de vida del proyecto que implica una mayor cantidad de recursos y requiere el mayor esfuerzo de seguimiento (Comisión Europea, 2021).

La Fase de Ejecución comienza con una Reunión de Inicio de Ejecución oficial. Las principales actividades que se llevan a cabo en esta fase, junto con los principales entregables generados, se muestran en la siguiente Figura 18.

Como se puede observar, las actividades clave de la Fase de Ejecución incluyen:

1. Realización de la Reunión de Inicio de Ejecución.
2. Distribución de información basada en el Plan de Gestión de las Comunicaciones.
3. Ejecución de las actividades de Aseguramiento de la Calidad (AdC) definidas en el Plan de Gestión de Calidad.
4. Coordinación del proyecto, equipo de trabajo y recursos, y resolución de conflictos e incidencias.
5. Producción de los entregables del proyecto de acuerdo con los planes del proyecto.
6. Traspaso de los entregables tal y como se describe en el Plan de Aceptación de Entregables.

Durante esta fase, el Director de Proyecto (DP) se enfoca en coordinar la ejecución de los planes del proyecto, asegurar la calidad de los entregables, gestionar la información y la comunicación con las partes interesadas, y hacer seguimiento y control del progreso.

Es importante destacar que, aunque la mayor parte del esfuerzo se concentra en la ejecución, las actividades de seguimiento y control son críticas en esta fase para mantener el proyecto en línea con los objetivos y planes establecidos. Esto implica un monitoreo continuo del progreso, la gestión de cambios, riesgos e incidencias, y la toma de acciones correctivas cuando sea necesario (Comisión Europea, 2021).

Al final de la Fase de Ejecución, una vez que los entregables del proyecto han sido aceptados por el Propietario del Proyecto (PP), el Director de Proyecto (DP) puede solicitar proceder a la siguiente Fase de Cierre. Esta decisión la toma el Comité de Dirección del Proyecto (CDP).

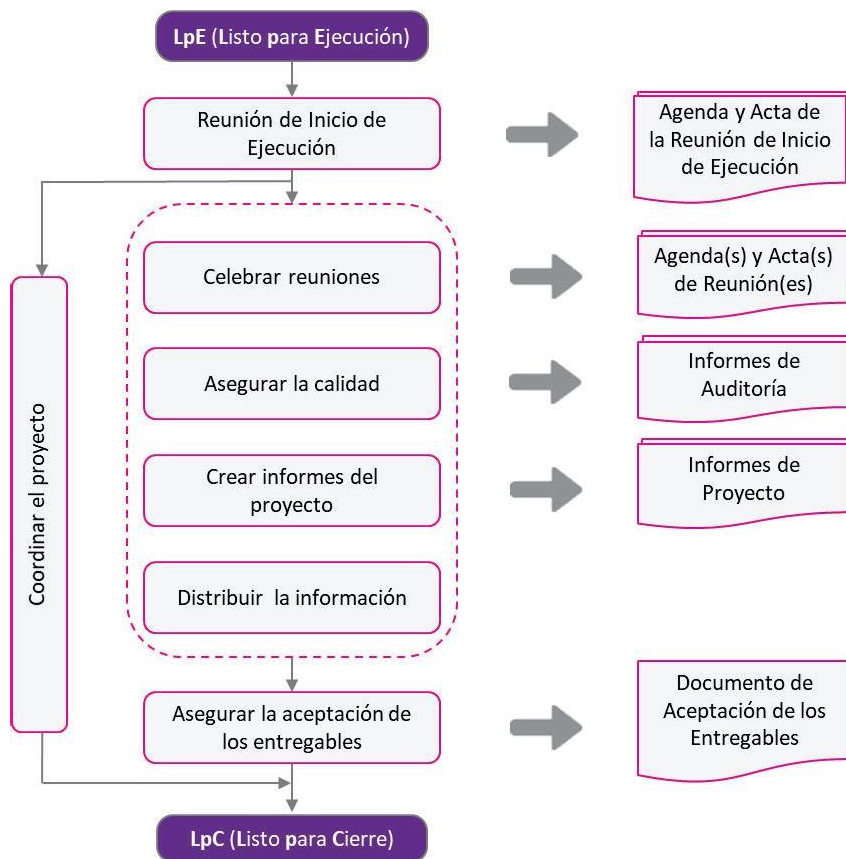


Figura 18. Actividades y principales entregables de la Fase de Ejecución Fuente: Comisión Europea (2021)

En pocas palabras, la Fase de Ejecución es donde el proyecto cobra vida y los planes se transforman en resultados tangibles. Una gestión efectiva de esta fase, con un enfoque en la coordinación, la calidad y el control, es fundamental para lograr los objetivos del proyecto y satisfacer las expectativas de las partes interesadas.

3.1.4. Fase de Cierre

La fase final de un proyecto PM² es la Fase de Cierre. Esta fase comienza con la Reunión de Revisión de Fin de Proyecto y termina con la aprobación final del Propietario del Proyecto (PP), que marca el cierre administrativo del proyecto (Comisión Europea, 2021).

Las principales actividades que se llevan a cabo en la Fase de Cierre, junto con los principales entregables generados, se muestran en el diagrama de la Figura 19.

Durante la Fase de Cierre, se completan las actividades del proyecto, se documenta el estado final del mismo y los entregables terminados se transfieren oficialmente al Propietario del Proyecto (PP). El Informe de Fin de Proyecto recoge la información sobre el progreso global del proyecto y las Lecciones Aprendidas.

Las actividades clave de la Fase de Cierre incluyen:

1. Realización de la Reunión de Revisión de Fin de Proyecto, donde se discute el rendimiento del proyecto, se evalúa el desempeño del equipo y del contratista (si aplica), y se identifican las Lecciones Aprendidas.
2. Recopilación de Lecciones Aprendidas y Recomendaciones Post-Proyecto, que se documentan en el Informe de Fin de Proyecto para servir como base de conocimiento para futuros proyectos.
3. Aceptación final del proyecto por parte del Propietario del Proyecto (PP), tras consultar al Comité de Dirección del Proyecto (CDP). Los entregables terminados se transfieren al cuidado, custodia y control del Propietario del Proyecto (PP) y de la organización solicitante/cliente.
4. Cierre administrativo del proyecto, asegurando que toda la documentación y los registros se revisan, organizan y archivan de forma segura con la ayuda de la Oficina de Soporte a Proyectos (OSP). Se liberan los recursos asignados al proyecto.

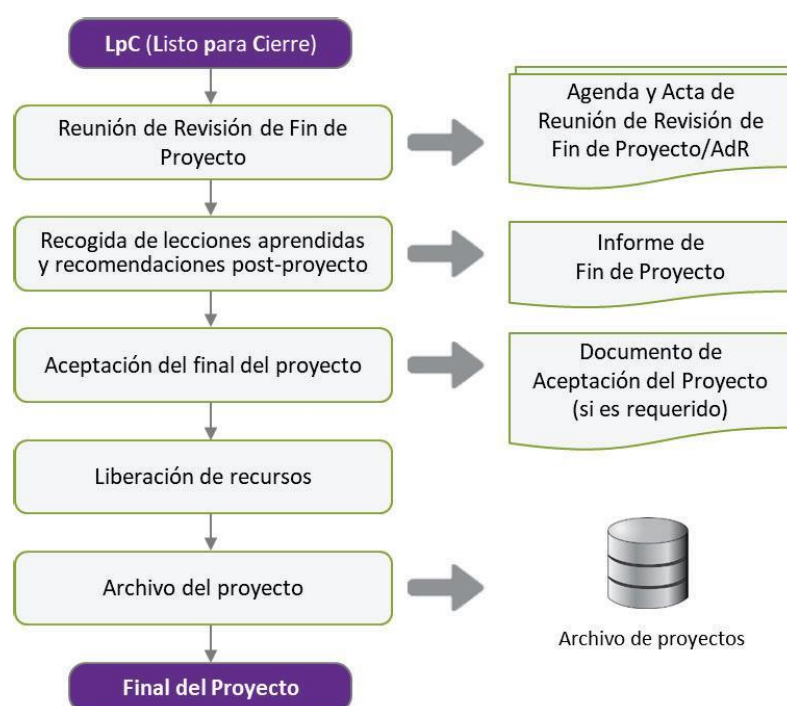


Figura 19. Actividades y principales entregables de la Fase de Cierre Fuente: Comisión Europea (2021)

El Director de Proyecto (DP) se asegura de que todos los entregables producidos han sido aceptados, que la documentación del proyecto está completa y correctamente archivada, y que todos los recursos usados por el proyecto están formalmente liberados (Comisión Europea, 2021).

En síntesis, la Fase de Cierre es esencial para asegurar una transferencia ordenada de los resultados del proyecto a la organización, capturar el aprendizaje para futuros proyectos, y cerrar formalmente todas las actividades administrativas. Un cierre de proyecto bien gestionado contribuye a maximizar el valor generado y a mantener buenas relaciones con todas las partes interesadas.

3.1.5. Actividades de Seguimiento y Control

Las actividades de Seguimiento y Control se realizan a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Durante el Seguimiento y Control, todo el trabajo se observa desde el punto de vista del Director de Proyecto (DP). El seguimiento consiste en la medición continua de las actividades y la evaluación del progreso del proyecto frente a los planes del proyecto. El control consiste en identificar y tomar acciones correctivas frente a las desviaciones de los planes y hacer frente a incidencias y a riesgos (Comisión Europea, 2021).

Como se puede observar en la Figura 20, las principales actividades de Seguimiento y Control incluyen:

1. Seguimiento del Progreso del Proyecto: Recopilar información relativa al progreso y estado general del proyecto en términos de alcance, cronograma, costes y calidad. También se da seguimiento a riesgos, incidencias y cambios.
2. Gestión de Incidencias y Decisiones: Identificar, evaluar, asignar, resolver y controlar incidencias del proyecto. Las decisiones tomadas se registran en el Registro de Decisiones.
3. Gestión de las Partes Interesadas: Analizar las expectativas, actitudes, nivel de interés e influencia de las partes interesadas clave del proyecto y gestionar su participación y contribución.
4. Gestión de la Aceptación de los Entregables: Planificar, ejecutar y controlar las actividades que conducen a la aceptación de los entregables, incluyendo la definición de criterios de aceptación y la aprobación formal de entregables.
5. Gestión de la Transición: Gestionar y controlar las actividades que dirigen el cambio del estado anterior al nuevo cuando se finalizan los entregables.
6. Gestión de la Implementación en el Negocio: Planificar, ejecutar y controlar actividades que apoyan los cambios organizacionales necesarios para que los entregables se integren efectivamente en el trabajo diario y generen beneficios.

Además, se llevan a cabo actividades regulares de gestión como el Control del Cronograma, Control de Costes, Gestión de Requisitos, Gestión de Cambios, Gestión de Riesgos, Gestión de Calidad y Gestión de la Externalización (Comisión Europea, 2021).



Figura 20. Actividades y principales artefactos de Seguimiento y Control Fuente: Comisión Europea (2021)

Todas estas actividades de Seguimiento y Control se basan en los procesos descritos en los Planes de Gestión del Proyecto desarrollados durante la Fase de Planificación. Su ejecución efectiva es responsabilidad última del Director de Proyecto (DP) (Comisión Europea, 2021).

Concluyendo, las actividades de Seguimiento y Control son esenciales para mantener el proyecto en línea con los objetivos y planes establecidos, identificar desviaciones y tomar acciones correctivas oportunas. Un seguimiento y control efectivos permiten una gestión proactiva del proyecto, anticipando y resolviendo problemas antes de que impacten significativamente en los resultados.

3.2 Herramientas de *Lean Construction*

En el marco de la filosofía *Lean Construction*, se han desarrollado diversas herramientas y técnicas que buscan optimizar los procesos, reducir los desperdicios y maximizar el valor entregado al cliente en los proyectos de construcción (Koskela et al., 2002). Estas herramientas, que abarcan desde la planificación estratégica hasta la gestión de la calidad, resultan especialmente relevantes y aplicables al presente trabajo, enfocado en la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible.

Una de las herramientas fundamentales es el *Value Stream Mapping* (VSM), una técnica de análisis visual que permite identificar y eliminar desperdicios en el flujo de valor del proyecto, desde su concepción hasta la entrega final. En estrecha relación con el VSM, encontramos el *Hoshin Kanri*, un enfoque de planificación estratégica que alinea objetivos y acciones en todos los niveles de la organización, asegurando un enfoque coherente hacia la mejora continua (Liker & Morgan, 2006).

Otro aspecto clave en la aplicación de *Lean Construction* es la colaboración y la integración de todas las partes interesadas. En este sentido, el *Integrated Project Delivery* (IPD) se presenta como un enfoque que reúne a todos los actores desde el inicio del proyecto, fomentando la comunicación, la confianza y la toma de decisiones conjunta (AIA, 2007). Esta integración se ve reforzada por herramientas como el *Last Planner System* (LPS), que involucra a todos los participantes en la planificación y control de la producción, generando planes de trabajo más confiables y realistas (Ballard, 2000).

La eficiencia y la optimización de los flujos de trabajo son aspectos centrales en *Lean Construction*. Herramientas como el *Takt Planning*, que busca establecer un ritmo constante y equilibrado de trabajo, y el Sistema *Pull*, que se enfoca en producir solo lo necesario, en el momento y cantidad requeridos (Tommelein et al., 1999), contribuyen a la reducción de los desperdicios y a la mejora de la productividad.

La estructura organizacional y la gestión visual también desempeñan un papel importante en la aplicación de *Lean Construction*. El organigrama por cadenas de valor permite visualizar y gestionar la estructura de la organización en función de los flujos de valor, facilitando la comunicación y la coordinación entre los diferentes equipos y procesos.

La mejora continua es otro pilar fundamental de *Lean Construction*, y se ve reflejada en metodologías como el *Kaizen*, basado en el ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), que fomenta la participación y el aprendizaje de todos los involucrados (Imai, 1986). En esta misma línea, las 5S's (*Sort, Set in Order, Shine, Standardize, Sustain*) se presentan como una metodología para crear y mantener un ambiente de trabajo organizado, limpio y eficiente, contribuyendo a la eliminación de los desperdicios y a la mejora de la productividad.

La tecnología también desempeña un papel clave en la aplicación de *Lean Construction*, y herramientas como el BIM (*Building Information Modeling*) permiten la creación y gestión de modelos digitales integrados de los proyectos, facilitando la colaboración, la detección temprana de conflictos y la toma de decisiones informada (Eastman et al., 2011).

Otras herramientas, como el *Just-In-Time* (JIT), que busca entregar los recursos necesarios en el lugar y momento exactos, y el Portafolio de Kraljic, que permite clasificar y priorizar materiales y proveedores en función de su impacto en el proyecto y el riesgo de suministro, contribuyen a la optimización de la logística y la gestión de la cadena de suministro (Kraljic, 1983).

Así mismo, el IQP (*Integrated Quality Process*) se presenta como un enfoque que integra la gestión de la calidad en todos los procesos y fases del proyecto, desde el diseño hasta la entrega, asegurando el cumplimiento de los requisitos y la satisfacción del cliente (Liker, 2004).

Por último, el Poka Yoke se implementa como una técnica de calidad que busca prevenir errores en proyectos, desde el diseño hasta la entrega. Utiliza mecanismos simples para evitar errores o detectarlos rápidamente (Shingo, 1986). Aplicar estos principios en construcción mejora la calidad, reduce reprocesos y aumenta la eficiencia.

La selección y aplicación de estas herramientas de *Lean Construction* en el contexto de la construcción habitacional sostenible requiere una adaptación a las necesidades y desafíos específicos de este tipo de proyectos. Sin embargo, su potencial para mejorar la eficiencia, la calidad y la creación de valor, al tiempo que se abordan los aspectos ambientales, sociales y económicos, las convierte en un componente fundamental de la metodología propuesta en este trabajo.

3.2.1. Value Stream Mapping (VSM)

El *Value Stream Mapping* (VSM) es una herramienta visual y analítica fundamental dentro de la filosofía *Lean Construction*, que permite identificar, visualizar y comprender el flujo de valor en un proyecto de construcción, desde la concepción hasta la entrega final al cliente (Rother & Shook, 2003). El VSM se enfoca en mapear tanto el flujo de materiales como el flujo de información, con el objetivo de detectar y eliminar los desperdicios, optimizar los procesos y maximizar el valor entregado (Arbulu & Tommelein, 2002).

El proceso de desarrollo de un VSM implica una serie de pasos secuenciales, que comienzan con la identificación de la familia de productos o servicios a analizar, en este caso, el proyecto de construcción habitacional sostenible en general. A continuación, se realiza un mapeo del estado actual, en el que se representa gráficamente cada uno de los procesos, actividades y flujos involucrados en el proyecto, incluyendo los tiempos de ciclo, los inventarios, las esperas y los puntos de decisión (Ballard, 2000).

Una vez completado el mapa del estado actual, se procede a analizar cada uno de los elementos representados, con el fin de identificar los desperdicios, las oportunidades de mejora y las áreas críticas que requieren atención. Este análisis se realiza de manera colaborativa, involucrando a todos los actores clave del proyecto, como el equipo de diseño, los contratistas, los proveedores y los representantes del cliente (Koskela et al., 2002).

A partir de este análisis, se desarrolla un mapa del estado futuro, en el que se plasman las mejoras y optimizaciones identificadas, así como las metas y objetivos a alcanzar en términos de eficiencia,

calidad y creación de valor. Este mapa sirve como una guía y un plan de acción para la implementación de los cambios y mejoras necesarios en el proyecto (Bulhoes et al., 2006).

La aplicación del VSM en los proyectos de construcción habitacional sostenible puede aportar numerosos beneficios, como la reducción de los tiempos de ciclo, la eliminación de los desperdicios, la mejora de la calidad, el aumento de la transparencia y la comunicación entre los diferentes actores, y la optimización del uso de los recursos (Rosenbaum et al., 2014).

Un ejemplo práctico de la aplicación del VSM en un proyecto de construcción sostenible podría ser el siguiente:

Imaginemos un proyecto de construcción de viviendas unifamiliares sostenibles, en el que se busca optimizar el proceso de diseño y construcción para reducir los desperdicios y mejorar la eficiencia energética. El equipo del proyecto comienza por desarrollar un mapa del estado actual, en el que se representan todos los procesos y actividades involucrados, desde la concepción del diseño hasta la entrega final de las viviendas.

Durante el análisis del mapa actual, se identifican varias oportunidades de mejora, como la falta de coordinación entre el diseño arquitectónico y el diseño de las instalaciones, lo que genera retrasos y cambios en obra. También se detectan desperdicios en el proceso de compras, con excesos de inventario y materiales que no cumplen con los criterios de sostenibilidad establecidos.

A partir de este análisis, el equipo desarrolla un mapa del estado futuro, en el que se proponen acciones como la implementación de sesiones de diseño integrado, en las que participen arquitectos, ingenieros y especialistas en sostenibilidad, para asegurar una coordinación efectiva y una toma de decisiones informada. También se establece un sistema de gestión de compras más eficiente, basado en los principios del *Just-In-Time* (JIT) y en la selección de proveedores y materiales que cumplan con los estándares de sostenibilidad requeridos.

Para visualizar mejor este ejemplo, se pueden utilizar diagramas de flujo y gráficos que representen los mapas del estado actual y futuro, como se muestra en las siguientes imágenes. Estos diagramas ilustran los procesos y las actividades involucradas en cada estado, permitiendo identificar las oportunidades de mejora y los cambios propuestos. Además, se incluyen tiempos tentativos ficticios hipotéticos para cada actividad, con el fin de facilitar la interpretación de las mejoras y el impacto potencial en la duración total del proyecto.

En el mapa del estado actual (Figura 21), se identifican los siguientes problemas:

1. Falta de comunicación y coordinación efectiva entre las diferentes fases del proyecto, lo que puede generar retrasos, errores y desperdicios. Como entre el diseño arquitectónico y el diseño de instalaciones
2. Proceso de permisos y licencias prolongado, que puede retrasar el inicio de las actividades de construcción.
3. Falta de eficiencia en la preparación del sitio, lo que puede afectar la duración total del proyecto.
4. Métodos de construcción tradicionales en las fases de cimentación, estructura, instalaciones y acabados, que pueden ser menos eficientes y generar más desperdicios.
5. Ausencia de un enfoque de mejora continua y optimización de procesos a lo largo del proyecto.
6. Falta de integración de principios de sostenibilidad en el diseño y la construcción, lo que puede resultar en un impacto ambiental mayor y un menor rendimiento energético del edificio.
7. Comunicación y seguimiento limitados entre la gerencia de proyectos y las diferentes fases, lo que puede dificultar la identificación y resolución oportuna de problemas.

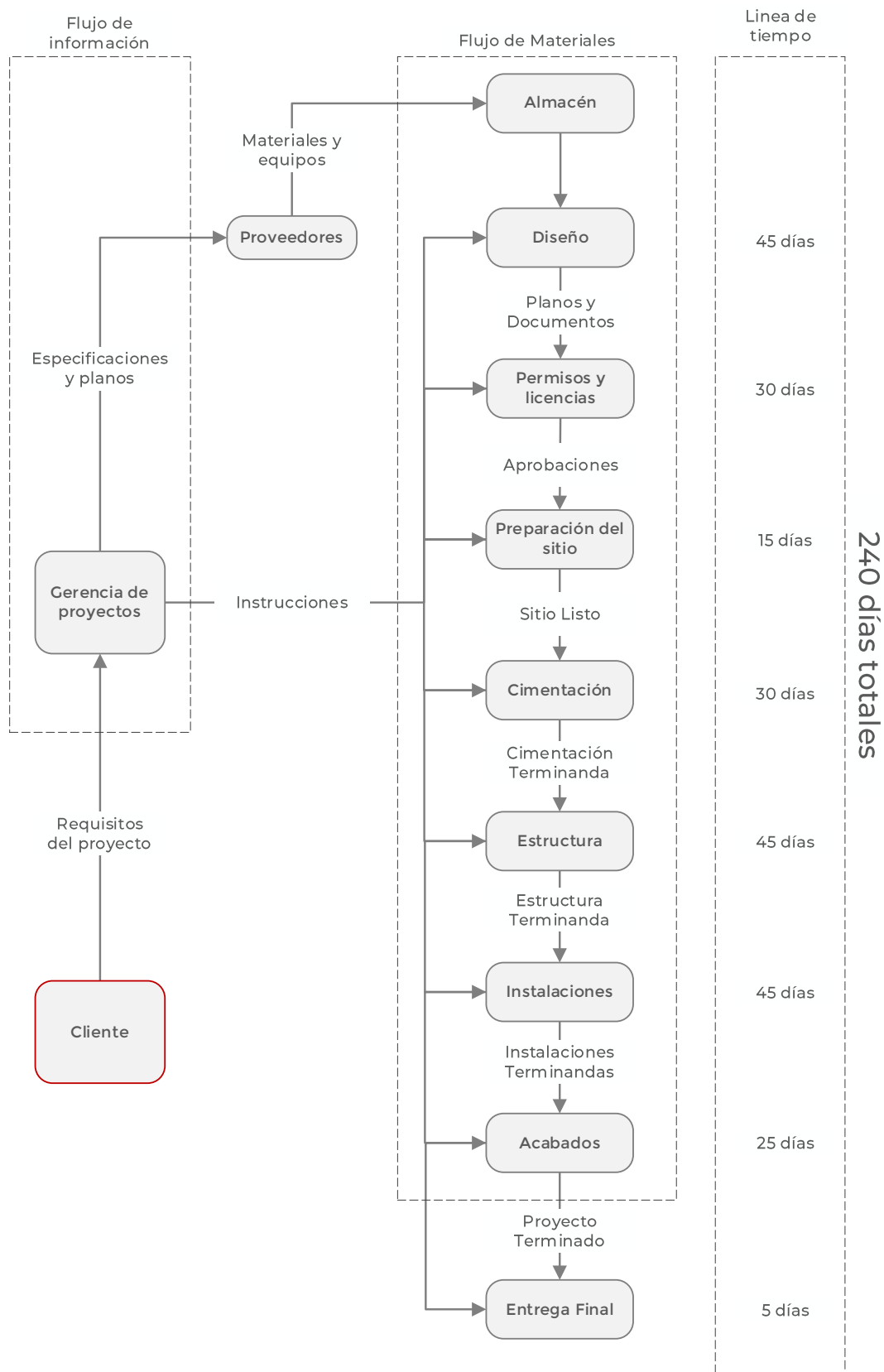


Figura 21. VSM estado actual Fuente: Elaboración propia

En el mapa del estado futuro (Figura 22), se implementan las siguientes mejoras:

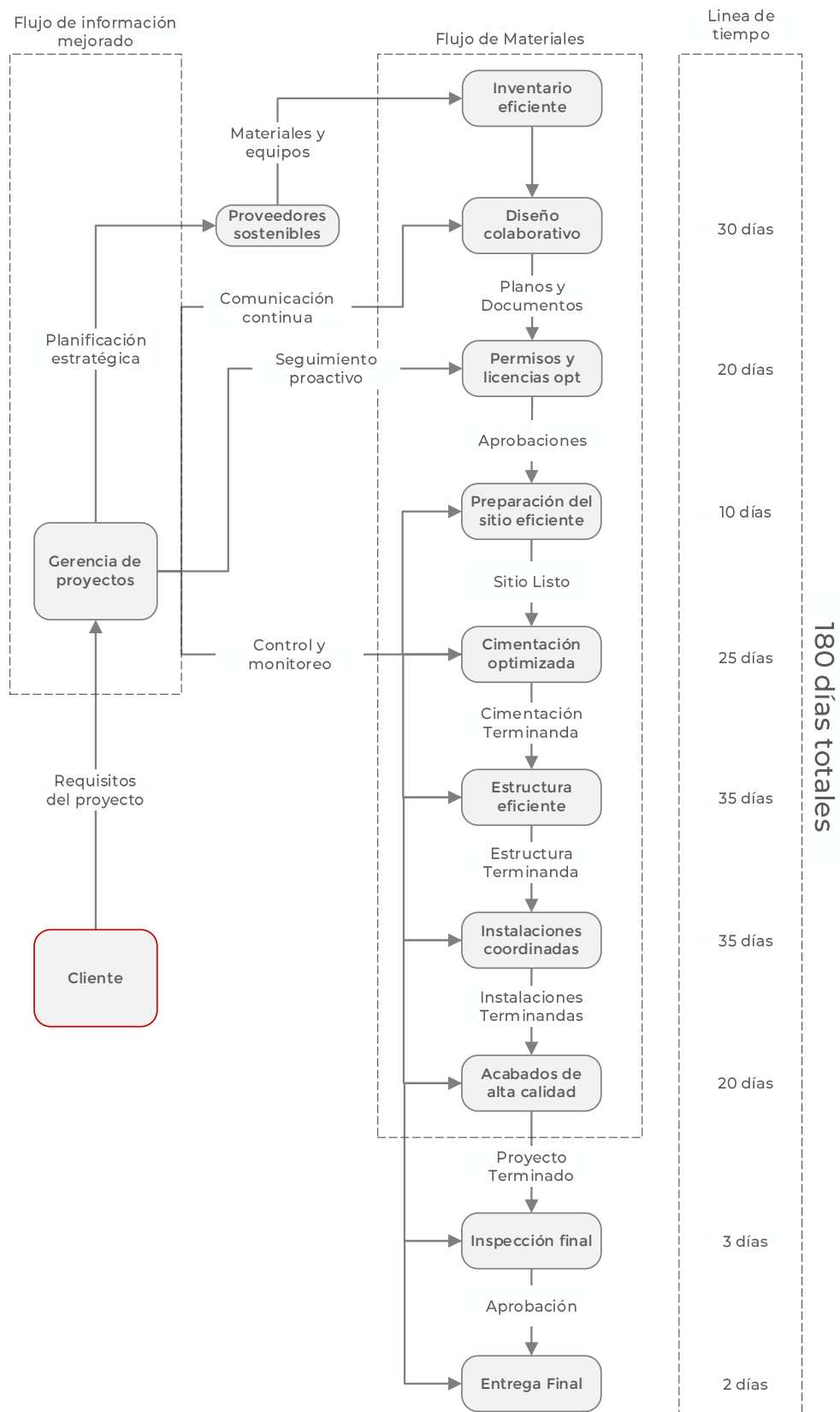


Figura 22. VSM estado futuro Fuente: Elaboración propia

1. Gerencia de proyectos integrada, que promueve una comunicación continua, un seguimiento proactivo y una planificación estratégica a lo largo de todo el proyecto.
2. Diseño colaborativo, que involucra a todas las partes interesadas desde el inicio, fomentando la coordinación, la toma de decisiones informada y la integración de principios de sostenibilidad.
3. Optimización del proceso de permisos y licencias, mediante una mejor coordinación con las autoridades y la preparación anticipada de la documentación necesaria.
4. Preparación del sitio eficiente, a través de una mejor planificación y el uso de técnicas lean para reducir desperdicios y tiempos de espera.
5. Métodos de construcción optimizados en las fases de cimentación, estructura, instalaciones y acabados, aplicando principios lean para mejorar la eficiencia, reducir desperdicios y aumentar la calidad.
6. Integración de principios de sostenibilidad en todas las fases del proyecto, desde la selección de materiales hasta las prácticas de construcción, para minimizar el impacto ambiental y mejorar el rendimiento energético del edificio.
7. Control y monitoreo continuo por parte de la gerencia de proyectos, para identificar y resolver oportunamente cualquier problema o desviación.
8. Inspección final rigurosa, para garantizar que el proyecto cumpla con todos los estándares de calidad y sostenibilidad antes de la entrega al cliente.
9. Entrega al cliente satisfecho, asegurando que el proyecto cumpla con sus requisitos y expectativas, y fomentando una relación positiva para futuros proyectos.

Estos mapas del estado actual y futuro permiten visualizar claramente las oportunidades de mejora identificadas mediante la aplicación del VSM en el proyecto de construcción sostenible. Las mejoras implementadas conducen a una mayor eficiencia, reducción de desperdicios y una entrega final más rápida y sostenible del proyecto.

En este ejemplo, se puede apreciar cómo el VSM permite identificar los desperdicios y las oportunidades de mejora en el proceso de diseño y construcción, y cómo se plasman las acciones y cambios necesarios en el mapa del estado futuro, con el fin de optimizar el flujo de valor y alcanzar los objetivos de sostenibilidad del proyecto.

El *Value Stream Mapping* (VSM) es una herramienta poderosa y esencial dentro de la filosofía *Lean Construction*, que permite visualizar, analizar y optimizar el flujo de valor en los proyectos de construcción habitacional sostenible. Su aplicación, basada en un proceso estructurado de mapeo, análisis y mejora continua, puede aportar beneficios significativos en términos de eficiencia, calidad y creación de valor, contribuyendo así al éxito y la sostenibilidad de este tipo de proyectos.

3.2.2. **Hoshin Kanri**

Hoshin Kanri, también conocido como Despliegue de Políticas, es una herramienta de planificación estratégica y gestión de la calidad que se ha adaptado y aplicado en el contexto de *Lean Construction*. Su objetivo principal es alinear los esfuerzos de todos los niveles de una organización hacia objetivos comunes, garantizando la coherencia y la coordinación en la ejecución de los proyectos (Hutchins, 2008).

La implementación de *Hoshin Kanri* en proyectos de construcción habitacional sostenible puede generar beneficios significativos al establecer una dirección clara y compartida, fomentar la participación activa de los equipos y promover la mejora continua. Este enfoque se basa en un proceso sistemático que comienza con la definición de objetivos estratégicos a largo plazo, los

cuales se desglosan en metas anuales y se despliegan en todos los niveles de la organización (Kesterson, 2014).

Un aspecto clave de *Hoshin Kanri* es la utilización de la “matriz X”, también conocida como matriz de correlación, para visualizar y alinear los objetivos estratégicos con las iniciativas y acciones específicas. Como se ilustra en la Figura 23, esta matriz permite establecer una conexión clara entre las metas a largo plazo, los objetivos anuales, las métricas de desempeño y las responsabilidades de cada área o equipo de trabajo, Además, la Figura sugiere una ruta tentativa de llenado o lectura de la matriz, indicada por las flechas numeradas, que guía al usuario a través de los diferentes componentes y sus interrelaciones, comenzando por los objetivos estratégicos a largo plazo y finalizando con los recursos necesarios para alcanzar dichos objetivos. (Tennant & Roberts, 2001).

En el contexto de los proyectos de construcción habitacional sostenible, la aplicación de *Hoshin Kanri* implica la definición de objetivos estratégicos relacionados con la sostenibilidad, como la reducción del impacto ambiental, la eficiencia energética, el uso de materiales sostenibles y la satisfacción de las necesidades de la comunidad. Estos objetivos se traducen en metas específicas para cada fase del proyecto, desde el diseño hasta la construcción y la entrega final.

Un ejemplo concreto de la implementación de *Hoshin Kanri* en un proyecto de construcción sostenible podría ser el ilustrado en la Figura 24.

A través de este tipo de herramientas, *Hoshin Kanri* permite alinear los esfuerzos de todos los involucrados en el proyecto, desde el equipo de diseño y construcción hasta los proveedores y subcontratistas, hacia el logro de los objetivos de sostenibilidad establecidos. Además, promueve la comunicación efectiva, la colaboración interdisciplinaria y el seguimiento continuo del progreso, lo que facilita la identificación temprana de desviaciones y la implementación de acciones correctivas (Kesterson, 2014).

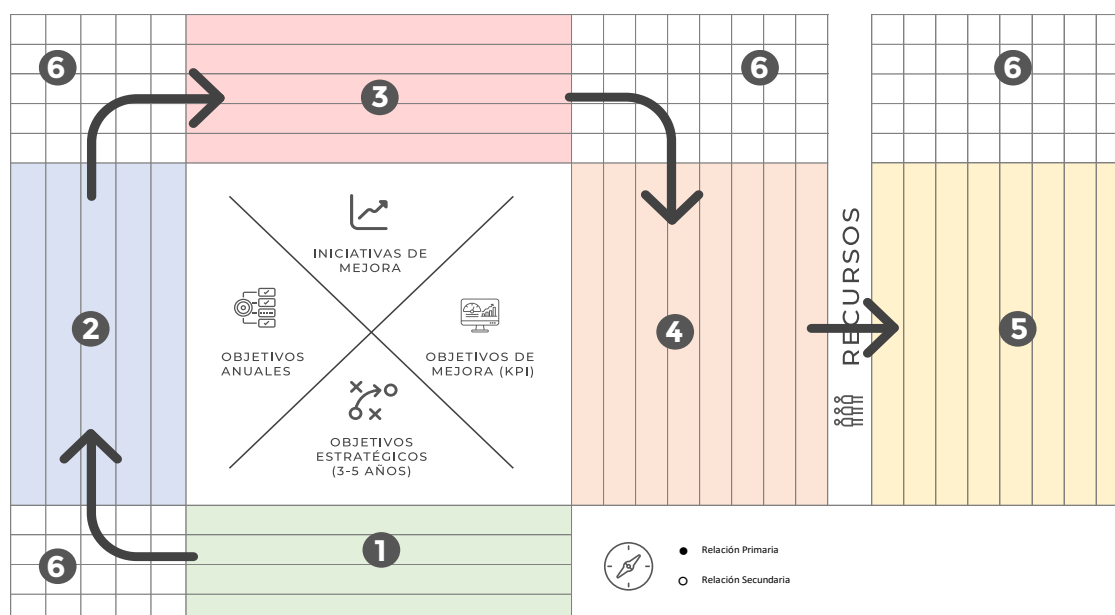


Figura 23. Matriz X Hoshin Kanri Fuente: Elaboración propia con base en BusinessMap (s.f.)

○	●		Aumentar la participación de proveedores locales y materiales sostenibles en un 40%.			●		●
●	○		Capacitar al 100% del personal en prácticas de construcción sostenible y Lean Construction.	●	●			
	●	●	Implementar sistemas de energía renovable en el 60% de las unidades habitacionales.			○	●	
		●	Reducir el consumo de agua en un 20% en comparación con los estándares convencionales.			○	●	
		●	Obtener la certificación LEED Gold en al menos el 50% de los proyectos de vivienda.	●		●		
<p>Posicionar a la empresa como líder en construcción habitacional sostenible en la región de Tapalpa.</p> <p>Reducir el impacto ambiental de los proyectos en un 30% en comparación con las prácticas tradicionales de construcción.</p> <p>Aumentar la satisfacción del cliente en un 95% mediante la entrega de viviendas de alta calidad y eficiencia energética.</p> <p>Mejorar la rentabilidad de los proyectos en un 15% a través de la optimización de procesos y la reducción de desperdicios.</p>								
				<p>Desarrollo de un plan de comunicación y engagement con la comunidad local para fomentar la aceptación y participación en los proyectos sostenibles.</p> <p>Implementación de un sistema de monitoreo y control del consumo de agua y energía en las viviendas.</p> <p>Establecimiento de alianzas estratégicas con proveedores de materiales y tecnologías sostenibles.</p> <p>Implementación de un sistema de gestión de residuos de construcción y demolición para maximizar el reciclaje y la reutilización.</p> <p>Desarrollo de un programa de formación continua en construcción sostenible y Lean Construction para el equipo del proyecto.</p>				
				●	●	○	●	○
				○	○	●	●	
						●	●	
				●	●			
						●	●	
				●	○	○		
				○	○	○	●	●
				<p>RECURSOS</p>				
				●	●	●	●	●
				●	○	●		○
				○		●		
				●	○		○	
					○	●		
					●		●	
				●				
				○		○	○	●

Figura 24. Ejemplo aplicación matriz X Hoshin Kanri Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto destacado de *Hoshin Kanri* es su énfasis en el ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), también conocido como ciclo de Deming. Este ciclo promueve la mejora continua al planificar acciones, ejecutarlas, verificar los resultados y tomar medidas correctivas o de mejora. En el contexto de los proyectos de construcción sostenible, el ciclo PDCA permite evaluar constantemente el desempeño en relación con los objetivos de sostenibilidad, identificar oportunidades de mejora y adaptar las estrategias según sea necesario (Tennant & Roberts, 2001).

Además de su enfoque en la alineación de objetivos y la participación de los equipos, *Hoshin Kanri* también se distingue por su fuerte énfasis en el ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) como base para el aprendizaje organizacional y la mejora continua (Jackson, 2006).

El ciclo PDCA está profundamente integrado en la estructura de *Hoshin Kanri* a través de los 7 experimentos llevados a cabo por los 4 tipos de equipos, como se muestra en la Tabla 4. En la Figura 25 se muestra como cada experimento representa un ciclo PDCA enfocado en un aspecto específico de la estrategia, desde la estrategia a largo plazo hasta las mejoras incrementales del trabajo diario.

Tabla 4. Los 4 equipos y los 7 experimentos Fuente: Elaboración propia con base en Jackson (2006).

4 Equipos		7 Experimentos	
1	Equipo Hoshin	1	Estrategia a largo plazo Un plan general de acción que abarca un período muy largo de tiempo—5 a 100 años—para realizar cambios importantes o ajustes en la misión y/o visión de la empresa.
		2	Estrategia a mediano plazo Un plan de acción parcialmente completo que incluye objetivos financieros y medidas de mejora de procesos que abarcan de 3 a 5 años para desarrollar capacidades importantes y alinear la trayectoria de las operaciones comerciales con la estrategia a largo plazo.
		3	Hoshin anual Un plan de acción altamente concreto que apunta a desarrollar capacidades competitivas clave de 6 a 18 meses en concordancia con la trayectoria de las operaciones comerciales en la estrategia.
2	Equipos Tácticos	4	Tácticas Iniciativas concretas de 6 a 18 meses, definidas por el hoshin anual, para desarrollar nuevas capacidades específicas aplicando nuevas tecnologías y metodologías a los procesos comerciales generales.
3	Equipos Operacionales	5	Operaciones Proyectos concretos de 3 a 6 meses, definidos por el hoshin anual, realizados para aplicar nuevas tecnologías y metodologías a funciones comerciales estandarizadas con procesos específicos.
4	Equipos de Acción	6	Kaikaku Proyectos concretos de 1 semana a 3 meses, generalmente definidos después del despliegue del hoshin, realizados para aplicar nuevos estándares de herramientas y trabajo diario estandarizado.
		7	Kaizen Solución de problemas en tiempo real para abordar defectos, errores y oportunidades que surgen en el curso del trabajo diario estandarizado, así como mejoras sugeridas por los empleados.

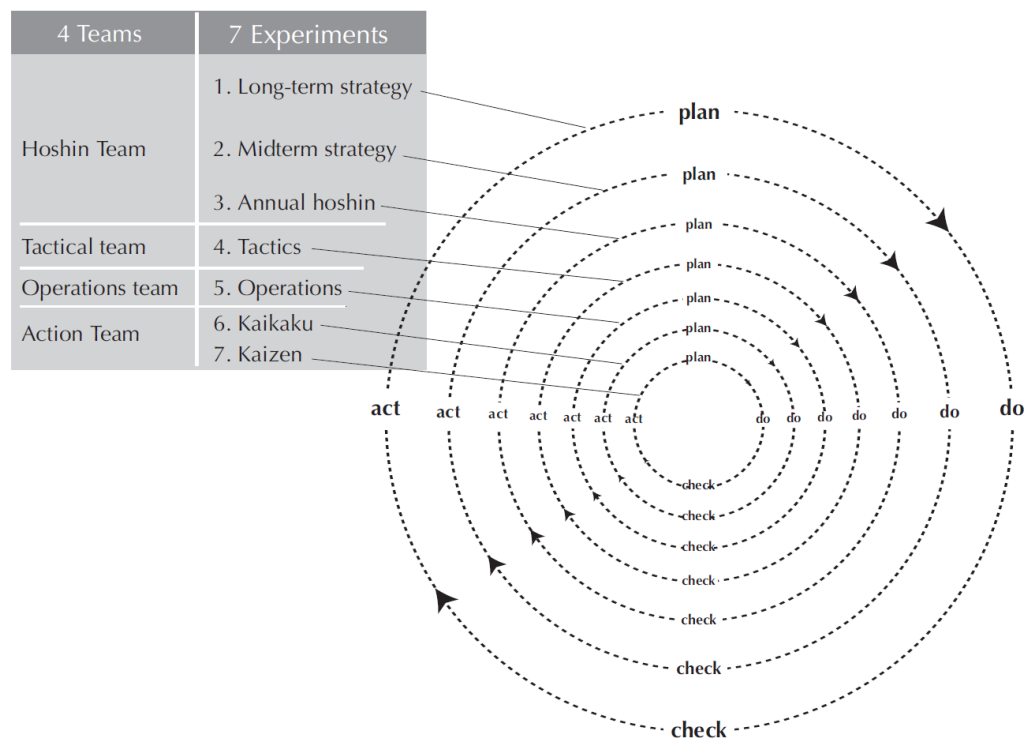


Figura 25. PDCA 4 equipos y 7 experimentos Fuente: Jackson (2006).

El Equipo *Hoshin* es responsable de los primeros 3 experimentos PDCA: estrategia a largo plazo, estrategia a mediano plazo y *hoshin* anual. Los Equipos Tácticos diseñan y guían el cuarto experimento PDCA enfocado en iniciativas tácticas para desarrollar capacidades competitivas específicas. Los Equipos Operacionales lideran el quinto experimento PDCA centrado en proyectos operacionales para mejorar productos y procesos particulares. Finalmente, los Equipos de Acción conducen el sexto y séptimo experimento PDCA, implementando mejoras periódicas de gran magnitud (*kaikaku*) y mejoras incrementales continuas (*kaizen*) respectivamente (Jackson, 2006).

Esta estructura anidada de ciclos PDCA asegura que el aprendizaje y la mejora ocurran en todos los niveles de la organización de manera alineada y coordinada. Cuando se hace un cambio en un ciclo, rápidamente se traduce en cambios en los demás. Esto permite a la organización adaptarse ágilmente a nueva información y cambiar su curso estratégico según sea necesario (Jackson, 2006).

Al requerir que cada gerente y eventualmente cada empleado se convierta en un practicante del método científico de PDCA, *Hoshin Kanri* desarrolla una cultura de auto-control, flexibilidad y aprendizaje continuo. Esta capacidad de aprendizaje organizacional acelerado es quizás la mayor fortaleza de *Hoshin Kanri* como sistema de gestión estratégica.

En resumen, *Hoshin Kanri* se presenta como una herramienta valiosa para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible al proporcionar un marco sistemático para alinear los objetivos estratégicos con las acciones concretas, promover la participación y el compromiso de los equipos, y fomentar la mejora continua. Su implementación efectiva requiere un liderazgo comprometido, una comunicación clara y el involucramiento activo de todas las partes interesadas. Al aplicar los principios de *Hoshin Kanri*, los gestores de proyectos pueden asegurar una dirección coherente, una ejecución coordinada y un enfoque constante en la sostenibilidad a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto.

3.2.3. Integrated Project Delivery (IPD)

En el contexto de la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible, la implementación de *Integrated Project Delivery* (IPD) se presenta como una estrategia clave para optimizar el desempeño y fomentar la colaboración entre los diversos actores involucrados. IPD es un enfoque innovador que busca integrar personas, sistemas, estructuras y prácticas empresariales en un proceso que aprovecha colaborativamente el talento y la visión de todos los participantes para optimizar los resultados del proyecto, aumentar el valor para el cliente y maximizar la eficiencia en todas las fases de diseño, fabricación y construcción (AIA, 2007).

A diferencia de los enfoques tradicionales, donde cada participante se centra principalmente en sus propios intereses y objetivos, IPD promueve un ambiente de colaboración temprana y continua entre el propietario, el equipo de diseño y el contratista principal. La Figura 26 compara esta interacción temprana de las fases del ciclo de vida de un proyecto bajo la metodología tradicional DBB y la metodología IPD integrada con BIM y principios Lean. Mientras que en DBB las fases se desarrollan de forma casi secuencial y con poca integración entre los participantes, en IPD se busca una mayor colaboración y superposición de las fases para optimizar el proceso. Esta integración se fundamenta en la alineación de intereses, objetivos compartidos, toma de decisiones conjunta, comunicación abierta y asignación equitativa de riesgos y recompensas (Fischer et al., 2017). Al fomentar un entorno de confianza y transparencia, IPD permite aprovechar el conocimiento y la experiencia de todos los miembros del equipo para identificar y resolver problemas de manera proactiva, optimizar el diseño y la construcción, y generar soluciones innovadoras que beneficien al proyecto en su conjunto.

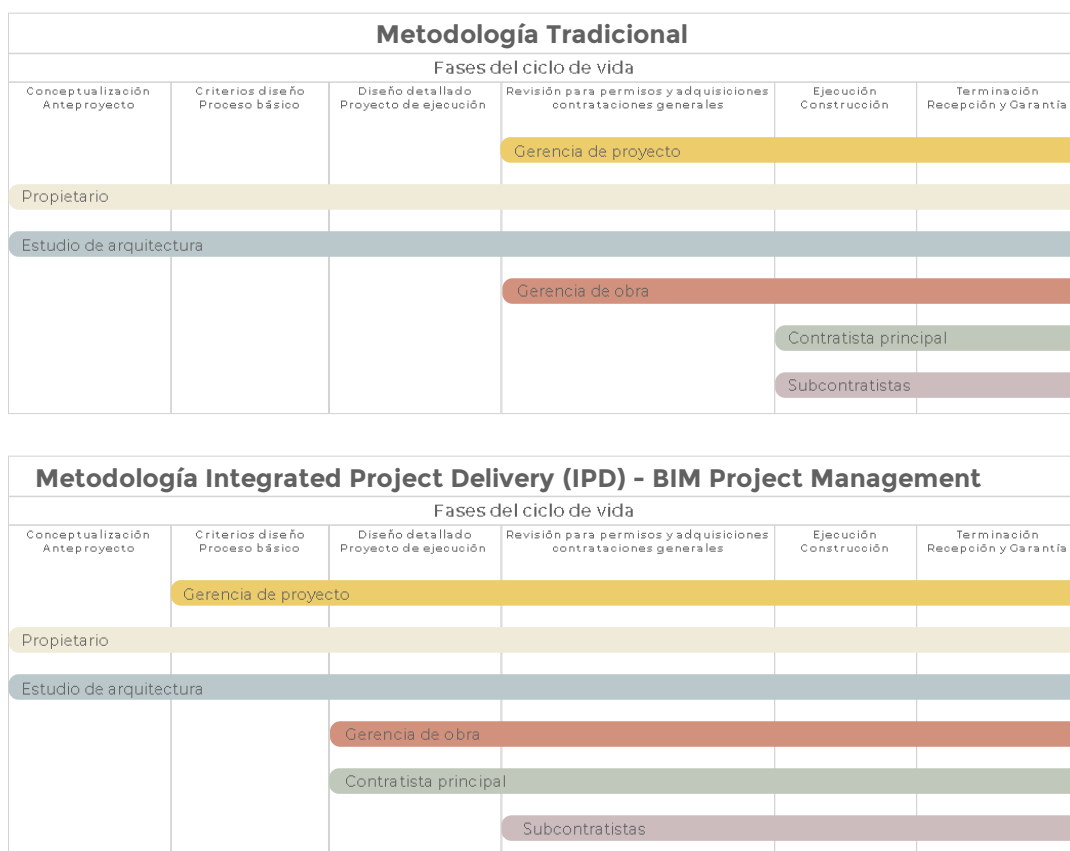


Figura 26. Ciclo de vida DBB e IPD Fuente: Elaboración propia con base en Torrealba (2023).

La implementación exitosa de IPD en proyectos de construcción habitacional sostenible requiere un cambio de mentalidad y la adopción de nuevas prácticas y herramientas. Uno de los pilares fundamentales de IPD es el uso de tecnologías de modelado de información de construcción (BIM) como una plataforma común para la colaboración y la toma de decisiones informadas (Azhar, 2011). BIM permite la creación de un modelo virtual 3D del proyecto, que integra información multidisciplinaria y facilita la detección temprana de conflictos, la simulación de escenarios y la optimización del diseño en términos de eficiencia energética, uso de recursos y sostenibilidad.

Además de BIM, IPD se apoya en la aplicación de principios y herramientas de *Lean Construction* para maximizar el valor y minimizar los desperdicios a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Mesa et al., 2016). La integración de conceptos como el *Last Planner System*, el *Target Value Design* y el uso de técnicas de prefabricación y modularización permiten una planificación colaborativa, un control más efectivo del cronograma y los costos, y una mayor eficiencia en la ejecución de las actividades de construcción.

La Figura 27 ilustra el flujo de trabajo integrado y colaborativo que se puede lograr mediante la implementación de IPD en un proyecto de construcción. En este modelo, el proceso tradicional secuencial de diseño, licitación y construcción se transforma en un enfoque integrado donde los actores clave, como el cliente, el arquitecto, los contratistas generales y los subcontratistas, trabajan en estrecha colaboración desde las etapas iniciales del proyecto (Fischer et al., 2017).

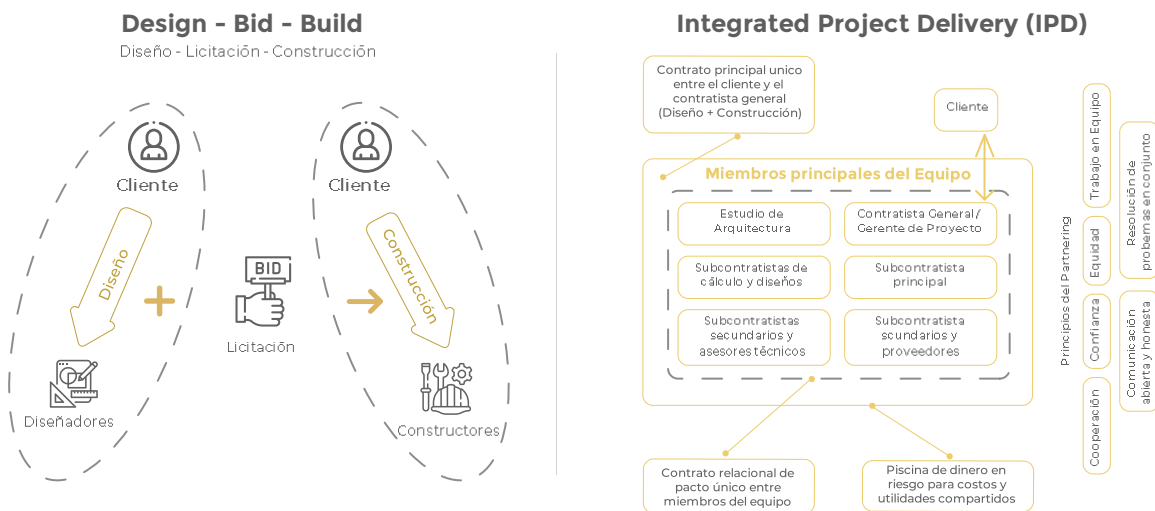


Figura 27. Comparativa DBB e IPD Fuente: Elaboración propia con base en Torrealba (2023).

La implementación exitosa de IPD requiere un cambio de mentalidad y la adopción de nuevas prácticas y herramientas. Uno de los pilares fundamentales es el uso de tecnologías de modelado de información de construcción (BIM) como una plataforma común para la colaboración y la toma de decisiones informadas (Azhar, 2011). El uso de estas tecnologías facilita la coordinación y el intercambio de información entre los miembros del equipo, permitiendo la detección temprana de conflictos y la optimización del diseño (Azhar, 2011). Se puede observar en la Figura 28 la interacción de los posibles miembros de un IPD así como sus roles y aportaciones al modelo BIM como tecnología de integración.

La implementación de IPD en proyectos de construcción habitacional sostenible, presenta una oportunidad para transformar la forma en que se gestionan estos proyectos. Al fomentar la colaboración temprana y continua entre los actores clave, aplicar tecnologías como BIM y adoptar los principios de *Lean Construction*, se pueden obtener beneficios significativos en términos de

eficiencia, calidad, sostenibilidad y satisfacción del cliente. Sin embargo, es importante reconocer que la transición hacia IPD requiere un cambio cultural, el desarrollo de nuevas habilidades y la adaptación de los procesos y contratos tradicionales (Fischer et al., 2017).

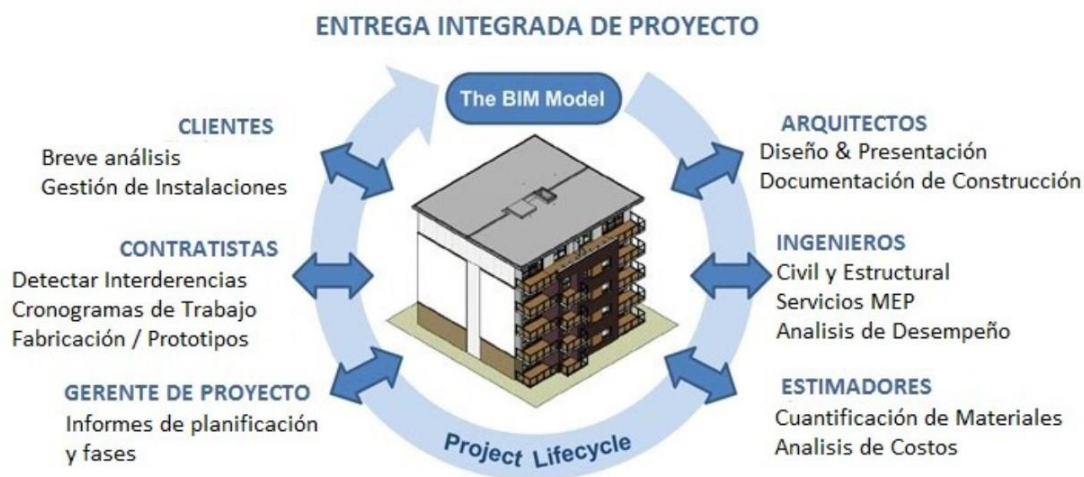


Figura 28. Relación BIM model con IPD Fuente: Medina (2020).

Al comparar los modelos contractuales DBB e IPD, se evidencian diferencias significativas en aspectos clave como el diseño, la licitación, la construcción, el trabajo en equipo, la transparencia de costos y la alineación de incentivos. La Figura 29 compara estas diferencias, mostrando cómo IPD promueve una mayor colaboración, transparencia y alineación de intereses en comparación con el enfoque tradicional.

Contratos en construcción

Tradicional DBB	Colaborativo IPD
<ul style="list-style-type: none"> ● DISEÑO: <ul style="list-style-type: none"> - Realizado individualmente. - Sin conocer el costo real de lo que se está diseñando. ● LICITACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> - A precio más bajo. ● CONSTRUCCIÓN: <ul style="list-style-type: none"> - Enfocada en ejecutar bajo presupuesto. ● EQUIPO: <ul style="list-style-type: none"> - Trabajan en silos. ● COSTOS: <ul style="list-style-type: none"> - Opacos. ● INVOLUCRADOS <ul style="list-style-type: none"> - Buscan su beneficio o el de su empresa, no el éxito del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> ● DISEÑO: <ul style="list-style-type: none"> - Realizado con aportes del constructor. - A costo objetivo. ● LICITACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> - A valor más alto. ● CONSTRUCCIÓN: <ul style="list-style-type: none"> - Planificada colaborativamente por todo el equipo. ● EQUIPO: <ul style="list-style-type: none"> - Trabajan en continua colaboración. ● COSTOS: <ul style="list-style-type: none"> - Transparentes. ● INVOLUCRADOS <ul style="list-style-type: none"> - Están alineados con el éxito del Proyecto.

Figura 29. Diferencias contrato Tradicional DBB y Colaborativo IPD Fuente: Elaboración propia con base en Torrealba (2023).

En conclusión, *Integrated Project Delivery* (IPD) representa una estrategia valiosa para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible. Al fomentar la colaboración temprana y continua, el uso de tecnologías como BIM y la aplicación de principios Lean, IPD permite optimizar el desempeño, reducir desperdicios y generar valor para todas las partes interesadas. La implementación exitosa de IPD requerirá un compromiso de los actores clave, un cambio de mentalidad y la adaptación de los procesos y contratos tradicionales. Sin embargo, los beneficios potenciales en términos de eficiencia, calidad, sostenibilidad y satisfacción del cliente hacen que IPD sea una estrategia digna de consideración para transformar la gestión de estos proyectos.

3.2.4. Last Planner System (LPS)

El *Last Planner System* (LPS) es una herramienta fundamental dentro de la filosofía *Lean Construction* que busca mejorar la planificación y el control de los proyectos de construcción. Desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell en la década de 1990, el LPS se enfoca en aumentar la fiabilidad de la planificación y reducir la incertidumbre en los procesos de construcción (Ballard, 2000). A diferencia de los enfoques tradicionales de planificación, que a menudo se basan en estimaciones optimistas y no tienen en cuenta la variabilidad inherente a los proyectos de construcción, el LPS adopta un enfoque colaborativo y realista para gestionar los flujos de trabajo (Ballard, 2000).

El LPS se basa en la premisa de que aquellos que están más cerca de la ejecución del trabajo (los "últimos planificadores") son los más adecuados para planificar y comprometerse con las tareas que deben realizarse (Ballard & Howell, 1998). Esto implica un proceso de planificación en cascada, donde la planificación se realiza en diferentes niveles de detalle y horizontes temporales, desde lo más general hasta lo más específico. La Figura 30 ilustra el flujo de planificación en cascada del *Last Planner System*, que consta de varios niveles interconectados. En la parte superior, se encuentra el Plan Maestro, que establece los hitos principales, el plan maestro y las promesas generales del proyecto. A partir de este plan, se desarrolla la Planificación de Fases, que detalla el flujo continuo de trabajo, promueve una planificación colaborativa y se enfoca en las entregas específicas (Ballard, 2000).

El siguiente nivel es la Planificación Anticipada, que típicamente abarca un horizonte de 4 a 6 semanas. En este nivel, se identifican y se eliminan las restricciones que podrían impedir la ejecución de las tareas, asegurando que el trabajo esté listo para ser realizado (Koskela et al., 2002). En esta etapa, se desarrolla un Plan Anticipado de Visualización que identifica las restricciones y los compromisos necesarios para garantizar un flujo de trabajo continuo.

A partir de la Planificación Anticipada, se genera el Plan de Trabajo Semanal, que es el resultado de un proceso colaborativo en el que los últimos planificadores (supervisores, capataces y subcontratistas) se comprometen a realizar las tareas que pueden completarse en la semana siguiente (Ballard & Howell, 1998). Este plan detallado especifica la documentación necesaria y el plan semanal de trabajo a ejecutar.

Finalmente, el ciclo se cierra con las Lecciones Aprendidas, que se generan a partir del análisis de las razones de no cumplimiento de las tareas planificadas y del cálculo del Porcentaje de Plan Completado (PPC). Estas lecciones aprendidas retroalimentan el proceso de planificación, permitiendo la mejora continua y el aprendizaje organizacional (Ballard, 2000).

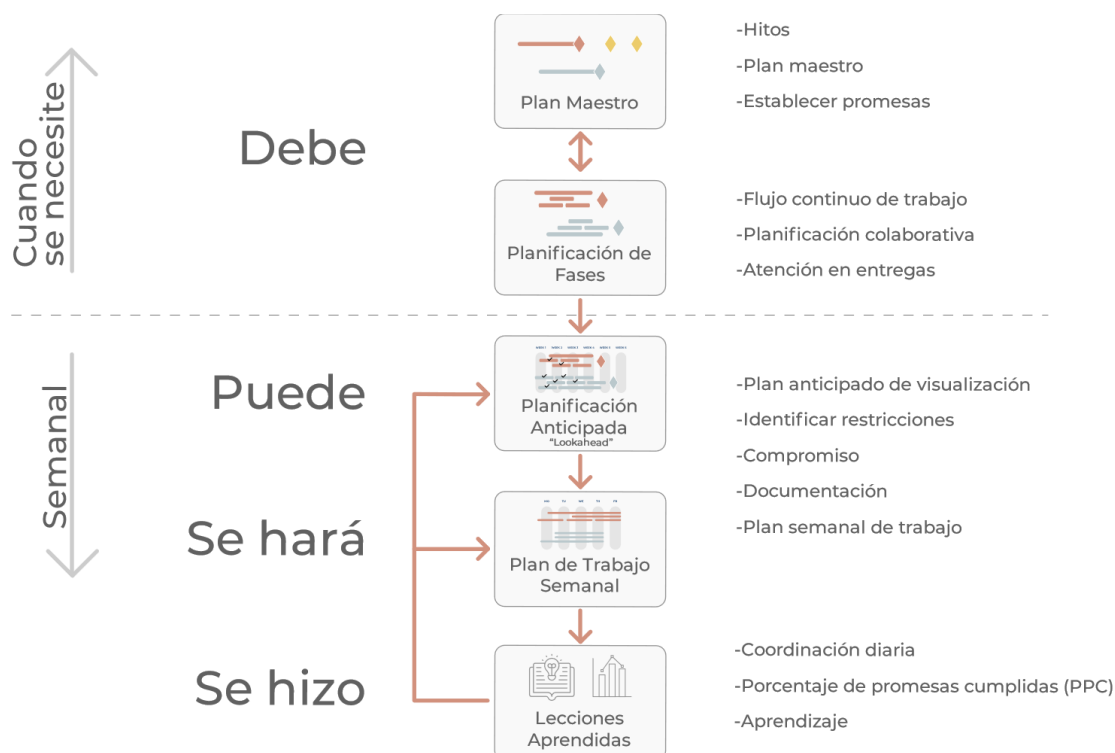


Figura 30. Flujo de planificación en cascada del Last Planner System. Fuente: Elaboración propia con base en Ballard (2000).

El flujo de planificación en cascada del *Last Planner System* promueve una coordinación diaria efectiva entre los diferentes niveles y actores involucrados en el proyecto. Al establecer compromisos realistas y confiables en cada nivel, se mejora significativamente el desempeño del proyecto en términos de cumplimiento de plazos, productividad y reducción de desperdicios.

Un elemento clave del LPS es la medición y el seguimiento del Porcentaje de Plan Completado (PPC), que representa la proporción de tareas completadas en relación con las tareas planificadas para una semana determinada. El PPC no solo sirve como un indicador de desempeño, sino que también proporciona una base para el aprendizaje y la mejora continua (Ballard & Howell, 1998). Al analizar las razones de no cumplimiento de las tareas planificadas, los equipos pueden identificar y abordar los problemas sistémicos que afectan la productividad y la fiabilidad del flujo de trabajo. En la Figura 31 se pueden observar la fórmula para obtener el porcentaje de PPC y un esquema gráfico de cómo se pudiera generar un gráfico dependiendo de las diferentes empresas o subcontratistas así como algunas razones de incumplimiento tentativas.

La implementación del LPS en los proyectos de construcción habitacional, podría aportar beneficios significativos en términos de mejora de la planificación, aumento de la productividad y reducción de los desperdicios. Al adoptar un enfoque colaborativo y realista en la planificación, el LPS fomenta un mayor compromiso y responsabilidad por parte de los equipos de trabajo, lo que a su vez conduce a una ejecución más fiable y predecible de las actividades.

Además, la integración del LPS con otras herramientas y principios de *Lean Construction*, como el *Value Stream Mapping* y el sistema *Pull*, puede potenciar aún más los beneficios. Por ejemplo, el *Value Stream Mapping* puede ayudar a identificar y eliminar las actividades que no agregan valor

en el flujo de trabajo, mientras que el sistema *Pull* asegura que los materiales y recursos se suministren justo a tiempo, reduciendo los desperdicios y mejorando la eficiencia (Koskela, 2000).

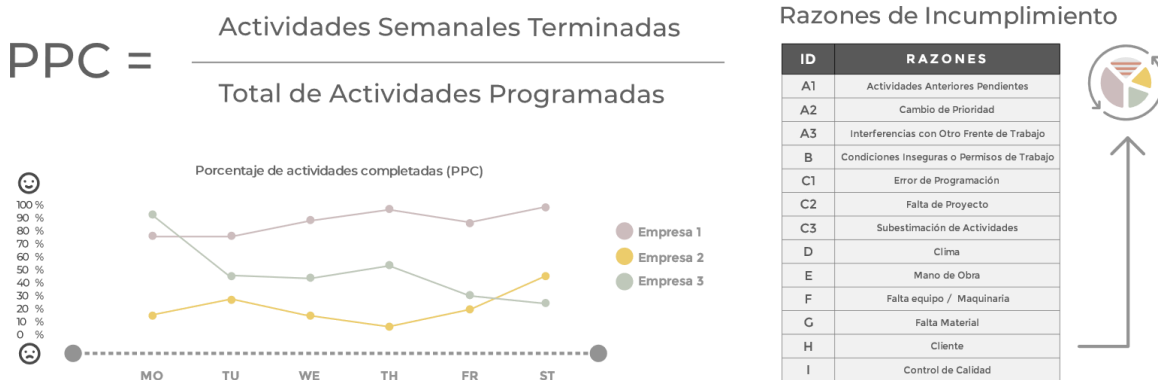


Figura 31. PPC y Razones de incumplimiento. Fuente: Elaboración propia con base en Ballard (2000).

Para una implementación exitosa del LPS en los proyectos de construcción habitacional sostenible, es fundamental contar con el compromiso y el liderazgo de la alta dirección, así como con la formación y capacitación adecuadas para los equipos de trabajo. Además, es importante adaptar el LPS al contexto específico del proyecto, considerando las características únicas y los desafíos de la construcción sostenible en la región.

En concreto, el *Last Planner System* es una herramienta poderosa de *Lean Construction* que busca mejorar la planificación y el control de los proyectos de construcción a través de un enfoque colaborativo y realista. Al involucrar a los últimos planificadores en el proceso de planificación y promover un flujo de trabajo más fiable y predecible, el LPS puede contribuir significativamente al éxito de los proyectos de construcción. La integración del LPS con otros principios y herramientas de *Lean Construction*, así como su adaptación al contexto local, son factores clave para aprovechar al máximo sus beneficios potenciales.

3.2.5. Takt Planning

Takt Planning es una herramienta de planificación y control de la producción que se origina en la industria manufacturera y ha sido adaptada a la construcción como parte de la filosofía *Lean Construction*. El término "*Takt*" proviene del alemán y se refiere al ritmo o pulso de la producción (Frandsen et al., 2013). El objetivo principal de *Takt Planning* es establecer un flujo de trabajo estable y predecible, dividiendo el proyecto en zonas o áreas de trabajo y asignando un tiempo fijo (*Takt time*) para completar las tareas en cada zona. Dentro de la filosofía *Takt Planning* se pueden encontrar tres niveles de planificación y control: *Process Analysis*, *Takt Planning* y *Takt Controlling*. Una visión general de estos 3 niveles se ilustra en la Figura 32.

El primer nivel de planificación y control es el *Process Analysis*, que implica la recopilación y análisis de datos sobre los procesos constructivos, incluyendo la duración de las actividades, los recursos necesarios y las interdependencias entre tareas (Binninger et al., 2018). Este análisis detallado es esencial para comprender el flujo de trabajo y establecer una base sólida para la implementación de *Takt Planning*.

El segundo nivel es *Takt Planning*, donde se aplican los principios de *Takt* a la planificación del proyecto. En este nivel, se establecen las SSU, se definen los paquetes de trabajo y se asigna un *Takt time* a cada paquete de trabajo en función de la demanda del cliente y la capacidad de producción (Dlouhy et al., 2016).

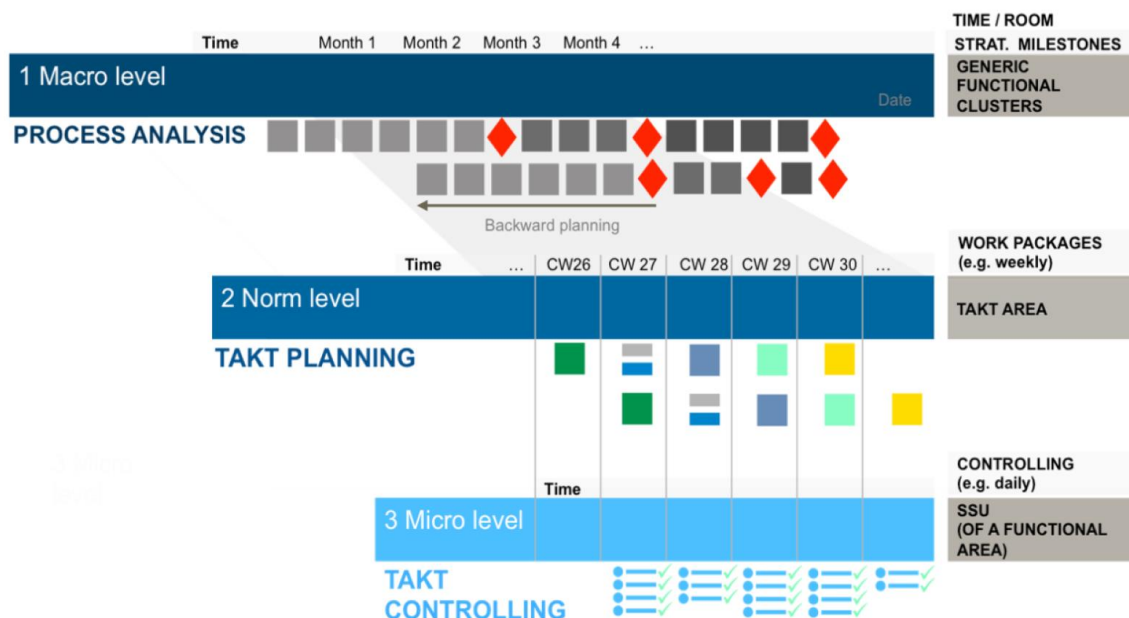


Figura 32. Visión General de los 3 niveles Takt Planning Fuente: Dlouhy et al. (2016).

El tercer nivel es *Takt Controlling*, que se enfoca en el seguimiento y control de la producción en tiempo real. En este nivel, se utilizan herramientas visuales como tableros *Kanban* o diagramas de flujo para monitorear el progreso del trabajo en cada SSU y detectar desviaciones o problemas que puedan afectar el flujo de trabajo (Binninger et al., 2018). *Takt Controlling* permite una rápida identificación y resolución de cuellos de botella, así como la implementación de acciones correctivas para mantener el proyecto en línea con el plan de producción.

La implementación de *Takt Planning* en proyectos de construcción implica varios pasos clave. En primer lugar, se deben identificar y secuenciar las actividades necesarias para completar el proyecto, agrupándolas en paquetes de trabajo que puedan ser realizados por equipos especializados en un tiempo determinado. Luego, se divide el proyecto en zonas o áreas de trabajo manejables, considerando factores como la geometría del edificio, los sistemas constructivos y los recursos disponibles (Dlouhy et al., 2016).

A continuación, se establece el *Takt time*, que es el tiempo asignado para completar un paquete de trabajo en una zona antes de que el equipo se mueva a la siguiente zona (Binninger et al., 2017). Este tiempo se calcula en función de la demanda del cliente y la capacidad de producción del sistema. La Figura 33 ilustra un ejemplo de cómo se puede dividir un proyecto en zonas según su densidad y la Figura 34 ilustra un ejemplo de tabla de armonización la cual propone asignar paquetes de trabajo a cada zona con un *Takt time* específico similar.

Una vez establecido el *Takt time* y las zonas de trabajo, se crea un plan de producción detallado que sincroniza el flujo de trabajo de los diferentes equipos especializados. Cada equipo se mueve de una zona a otra siguiendo el *Takt time* establecido, lo que garantiza un flujo de trabajo continuo y evita la acumulación de trabajo en proceso o las esperas innecesarias entre actividades.

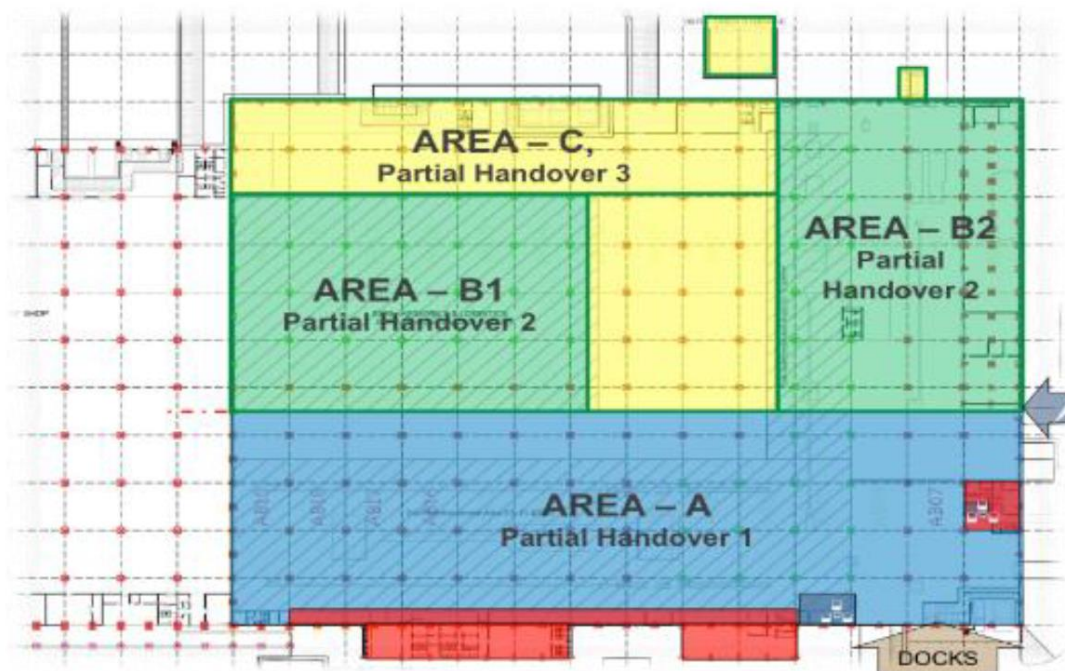


Figura 33. Categorización de áreas Takt Planning Fuente: Dlouhy et al. (2016).

Trade Sequence	SSU	Performance factor / SSU	Man-power	Duration / SSU	Takt area	Performance factor (total)	Levelling (Takt time = 5 days)
Piling	5 piece	5*160 min.	4	40 min.	60 pieces (with 2 Takt areas)	5 days	W1
Pile Caps	2 piece	2*480 min.	4	120 min.	13 pieces	3.25 days	W2
Column	1 piece	1200 min.	5	240 min.	7 pieces	3.5 days	W3
Y-Beams	1 piece	800 min.	5	160 min.	5 pieces	1.67 days	W4
RWDP	1 piece	320 min.	2	160 min.	6 pieces	2 days	
Flat gutters	2 piece	2*80 min.	5	16 min.	30 pieces	1 day	
Gutters	3 piece	3*300 min.	5	60 min.	16 pieces	2 days	W5
Roof	1 grid	3840 min.	8	480 min.	5 grids	5 days	
Roof seal	1 grid	1920 min.	4	480 min.	5 grids	5 days	W6
Drainage	18 m	18*149.33 min.	7	21.33 min.	90 m	4 days	
Grounding	18 m	18*10.67 min.	2	5.33 min.	90 m	1 day	W7
Soil base	324 m ²	324*10.37 min.	7	1.48 min.	1.620 m ²	5 days	
Facade	2 piece	2*240 min.	5	48 min.	10 pieces	1 day	W8
Concrete	360 m ²	360*20 min.	15	1.33 min.	1800 m ²	5 days	

Figura 34. Ejemplo tabla de armonización Takt Time Fuente: Dlouhy et al. (2016).

Un concepto importante dentro de *Takt Planning* son las SSU, estas son unidades espaciales estándar que se definen como áreas repetitivas y manejables dentro del proyecto, como apartamentos, oficinas o pasillos un ejemplo de esto se ilustra en la Figura 35 (Dlouhy et al., 2016). La identificación de SSU permite una planificación más detallada y precisa, ya que cada SSU puede ser tratada como una unidad de producción independiente con su propio *Takt time* y secuencia de trabajo.

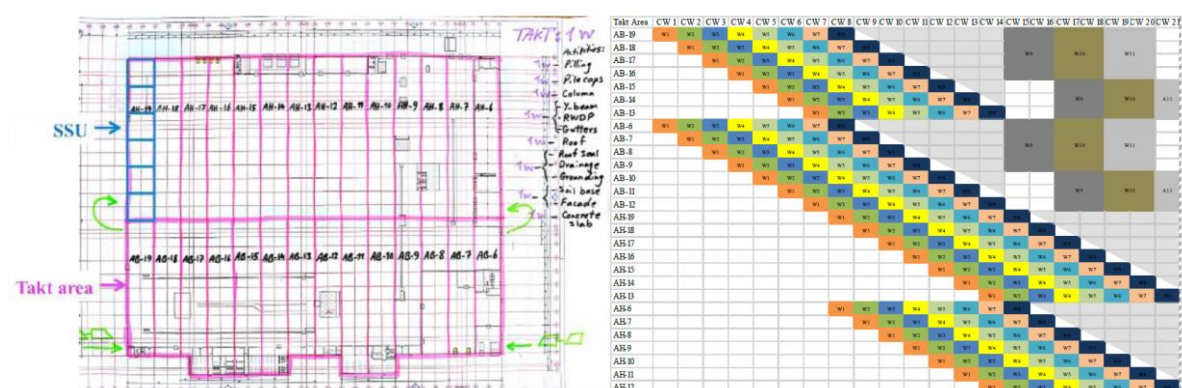


Figura 35. Definición de áreas Takt con SSUs y su Takt plan Fuente: Dlouhy et al. (2016).

Takt Planning promueve la colaboración y la comunicación entre los diferentes equipos y disciplinas involucradas en el proyecto. Al tener un plan de producción claro y sincronizado, se facilita la identificación y resolución temprana de conflictos o restricciones que puedan afectar el flujo de trabajo. Además, el uso de técnicas visuales, como tableros *Kanban* o diagramas de flujo como se muestra en la Figura 36, ayuda a monitorear y controlar el progreso del trabajo en cada zona.

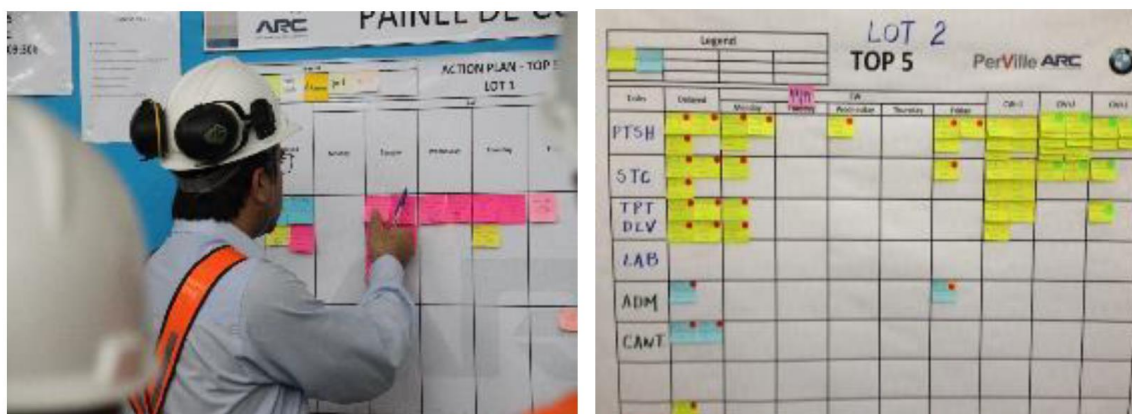


Figura 36. Reuniones Takt y tableros de trabajo Fuente: Dlouhy et al. (2016).

La implementación exitosa de *Takt Planning* en proyectos de construcción habitacional, podría aportar beneficios significativos en términos de reducción de la duración del proyecto, aumento de la productividad y mejora de la calidad. Al establecer un flujo de trabajo estable y predecible, *Takt Planning* reduce la variabilidad y el desperdicio, lo que a su vez conduce a un uso más eficiente de los recursos y una entrega más rápida del proyecto.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la aplicación de *Takt Planning* requiere un cambio de mentalidad y una adaptación de los procesos tradicionales de planificación y ejecución. Es necesario involucrar y capacitar a todos los participantes del proyecto, desde la gerencia hasta los trabajadores de campo, para que comprendan y adopten los principios de *Takt Planning*. Además, se deben establecer mecanismos de seguimiento y retroalimentación para medir el desempeño y realizar ajustes cuando sea necesario.

Takt Planning es una poderosa herramienta de *Lean Construction* que busca establecer un flujo de trabajo estable y predecible en los proyectos de construcción. Al dividir el proyecto en zonas manejables y asignar un *Takt time* para completar los paquetes de trabajo en cada zona, *Takt Planning* promueve la eficiencia, reduce el desperdicio y mejora la entrega de valor al cliente. Su aplicación en los proyectos de construcción habitacional sostenible en Tapalpa, México, puede contribuir significativamente a la optimización de los procesos constructivos y al logro de los objetivos de sostenibilidad. Sin embargo, es fundamental adaptar *Takt Planning* al contexto local y capacitar a todos los involucrados para garantizar una implementación exitosa.

3.2.6. Sistema Pull

El Sistema *Pull* es un principio fundamental de *Lean Construction* que busca optimizar el flujo de trabajo y reducir el desperdicio en los proyectos de construcción. A diferencia del enfoque tradicional de "empujar" (*push*) el trabajo hacia las siguientes etapas del proceso, el Sistema *Pull* se basa en la idea de que cada actividad debe ser "jalada" o solicitada por la siguiente actividad en la secuencia, en función de la demanda real y la capacidad del sistema (Howell & Ballard, 1998).

En un Sistema *Pull*, la producción se inicia solo cuando existe una demanda específica del cliente o de la siguiente etapa del proceso. Esto significa que cada actividad produce solo lo que se necesita, en la cantidad requerida y en el momento adecuado, evitando así la acumulación de inventario o trabajo en proceso (Tommelein, 1998). La Figura 37 ilustra la diferencia entre un sistema tradicional de "empujar" el trabajo y un Sistema *Pull* basado en la demanda.

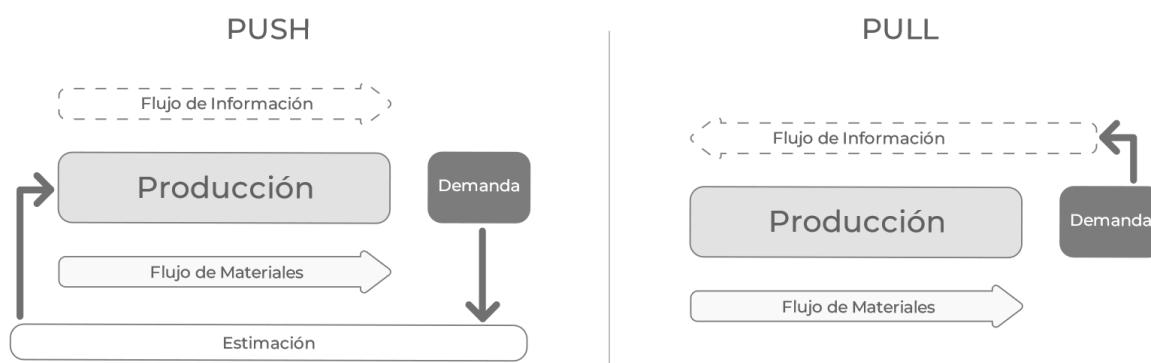


Figura 37. Comparación entre un sistema tradicional push y un sistema pull. Fuente: Elaboración propia con base en Hessing (s.f.).

Para implementar un Sistema *Pull* en los proyectos de construcción, es necesario establecer un flujo de información y materiales eficiente entre las diferentes etapas del proceso. Esto implica la utilización de herramientas visuales, como tarjetas *Kanban* o tableros de control, que permiten comunicar de manera clara y oportuna las necesidades y el estado de cada actividad (Arbulu et al., 2003).

En un proyecto de construcción, la aplicación del Sistema *Pull* podría comenzar con la identificación de las actividades clave y su secuencia lógica. Luego, se establecerían "buffers" o amortiguadores estratégicos entre las actividades para absorber la variabilidad y garantizar un flujo continuo de trabajo. Cada actividad "jalaría" el trabajo de la actividad anterior solo cuando tenga la

capacidad y los recursos necesarios para realizarlo, evitando así la acumulación de trabajo en proceso o esperas innecesarias (Arbulu et al., 2003).

Por ejemplo, en la etapa de acabados interiores, la instalación de pisos solo se iniciaría cuando las paredes estén completamente terminadas y pintadas. A su vez, la pintura de paredes solo comenzaría cuando la instalación de tuberías y cableado eléctrico haya concluido. De esta manera, cada actividad "jala" el trabajo de la actividad anterior, creando un flujo de trabajo más estable y predecible.

Además, el Sistema *Pull* promueve la colaboración y la comunicación entre los diferentes equipos y disciplinas involucradas en el proyecto. Al tener un flujo de información claramente definido y basado en la demanda real, se facilita la identificación temprana de problemas o restricciones que puedan afectar el progreso del trabajo. Esto permite tomar acciones correctivas oportunas y mantener el proyecto en línea con los objetivos establecidos (Arbulu et al., 2003).

Es importante destacar que la implementación exitosa del Sistema *Pull* requiere un cambio de mentalidad y una adaptación de los procesos tradicionales de planificación y control de la producción. Los equipos de trabajo deben estar capacitados y comprometidos con los principios del Sistema *Pull*, y debe haber un monitoreo constante del flujo de trabajo para identificar oportunidades de mejora continua.

En síntesis, el Sistema *Pull* es un principio clave de *Lean Construction* que busca optimizar el flujo de trabajo y reducir el desperdicio en los proyectos de construcción. Al basar la producción en la demanda real y "jalar" el trabajo de una actividad a otra, se evita la acumulación de inventario y se crea un flujo de trabajo más estable y predecible.

3.2.7. Organigrama por Cadenas de Valor

El Organigrama por Cadenas de Valor es una herramienta que permite visualizar y optimizar el flujo de valor en los proyectos de construcción, alineando la estructura organizativa con los procesos clave que generan valor para el cliente. Este enfoque se basa en los principios de *Lean Construction* y busca eliminar las actividades que no agregan valor, mejorar la comunicación y la colaboración entre los diferentes equipos, y aumentar la eficiencia general del proyecto (Rother & Shook, 2003).

La Figura 38 muestra un ejemplo de Organigrama por Cadenas de Valor aplicado a un proyecto de construcción. En este diagrama, se pueden identificar tres áreas principales: el Equipo Directivo, la Cadena de Valor y las Áreas de Soporte.

El Equipo Directivo, ubicado en la parte superior del organigrama, está compuesto por el Consejo Directivo, la Mesa de Socios, la Dirección General y las áreas funcionales de Comercial, Administración, Diseño y Construcción. Este equipo es responsable de establecer la dirección estratégica, las políticas generales del proyecto y la toma de decisiones clave. Su papel es fundamental para garantizar el alineamiento de los objetivos del proyecto con la estrategia de la organización y para coordinar el trabajo de las diferentes áreas funcionales (DAIN, 2021).

La Cadena de Valor, situada en el centro del organigrama, representa el flujo de actividades que generan valor para el cliente. Esta cadena recibe aportes tanto del Equipo Directivo como de las Áreas de Soporte, asegurando un flujo eficiente de información y recursos. Dentro de la Cadena de Valor, se encuentran las Oficinas de Valor especializadas, como la Oficina de Valor BIM (*Building*

Information Modeling) en el área de Diseño y la Oficina de Valor de Construcción en el área de Construcción (DAIN, 2021).

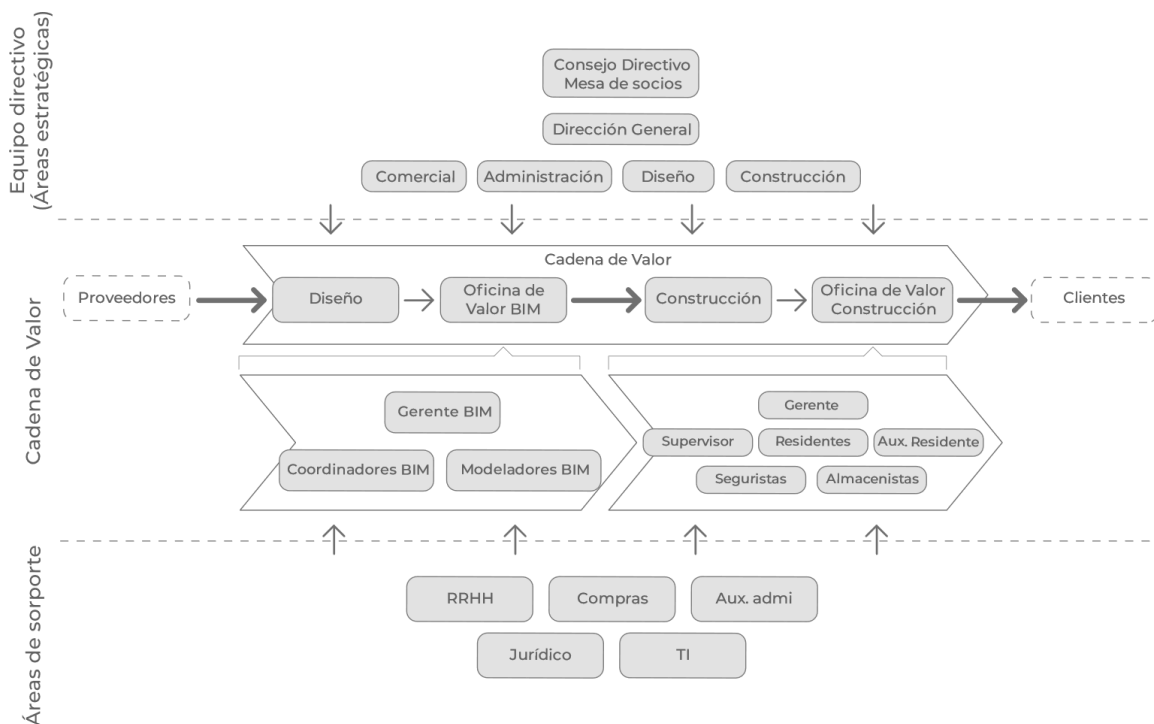


Figura 38. Organigrama por Cadenas de Valor. Fuente: Elaboración propia con base en DAIN (2021).

La Oficina de Valor BIM incluye roles como el Gerente BIM, Coordinadores BIM y Modeladores BIM, y se encarga de la gestión y desarrollo de los modelos BIM del proyecto, garantizando la calidad y coordinación de la información. Por otro lado, la Oficina de Valor de Construcción agrupa roles como el Gerente de Construcción, Supervisores, Residentes, Auxiliares Residentes, Seguristas y Almacenistas, y es responsable de la ejecución física de las obras, asegurando el cumplimiento de los objetivos de calidad, costo y plazo (DAIN, 2021).

Las Áreas de Soporte, ubicadas en la parte inferior del organigrama, incluyen Recursos Humanos (RRHH), Compras, Auxiliares Administrativos, Jurídico y Tecnologías de la Información (TI). Estas áreas brindan apoyo transversal a la Cadena de Valor, proporcionando servicios especializados y recursos necesarios para el desarrollo eficiente del proyecto (DAIN, 2021).

La implementación del Organigrama por Cadenas de Valor puede aportar beneficios significativos en términos de mejora de la comunicación y aumento de la eficiencia. Al integrar las áreas funcionales de Comercial, Administración, Diseño y Construcción en el Equipo Directivo, se facilita la coordinación y la toma de decisiones estratégicas, mientras que la Cadena de Valor y las Áreas de Soporte se encargan de la ejecución eficiente del proyecto (DAIN, 2021).

Además, el Organigrama por Cadenas de Valor promueve una cultura de colaboración y mejora continua, al fomentar la participación activa de todos los miembros del equipo en la identificación y resolución de problemas. Esto permite aprovechar el conocimiento y la experiencia de cada individuo, generando soluciones innovadoras y adaptadas a las necesidades específicas del proyecto.

Para una implementación exitosa del Organigrama por Cadenas de Valor, es fundamental contar con el compromiso y liderazgo del Equipo Directivo, así como con la capacitación y participación activa de todos los miembros del equipo. Además, se deben establecer métricas y herramientas de seguimiento para medir el desempeño y identificar oportunidades de mejora continua (DAIN, 2021).

Resumiendo, el Organigrama por Cadenas de Valor es una poderosa herramienta de gestión que permite alinear la estructura organizativa con los procesos clave que generan valor en los proyectos de construcción. La integración de las áreas funcionales de Comercial, Administración, Diseño y Construcción en el Equipo Directivo, junto con la Cadena de Valor y las Áreas de Soporte, facilita la coordinación, la toma de decisiones estratégicas y la ejecución eficiente del proyecto. Su aplicación en los proyectos de construcción habitacional sostenible en Tapalpa, México, puede contribuir significativamente a la mejora de la eficiencia, la reducción de desperdicios y el aumento de la satisfacción del cliente. Sin embargo, es fundamental adaptar este enfoque al contexto local y capacitar adecuadamente a todos los involucrados para garantizar una implementación exitosa.

3.2.8. **Kaizen (PDCA, *Plan-Do-Check-Act*)**

Kaizen es una filosofía y metodología de mejora continua que tiene sus raíces en la industria manufacturera japonesa y ha sido adaptada con éxito a la gestión de proyectos de construcción en el marco de *Lean Construction*. La palabra *Kaizen* proviene de dos términos japoneses: "*kai*", que significa cambio, y "*zen*", que significa bueno o beneficioso. Por lo tanto, *Kaizen* se traduce como "cambio para mejorar" o "mejora continua" (Imai, 1986).

El objetivo principal de *Kaizen* es la eliminación gradual y constante de desperdicios y la creación de valor a través de la participación activa de todos los miembros del equipo, desde la alta dirección hasta los trabajadores de primera línea. *Kaizen* se basa en la idea de que pequeñas mejoras incrementales, implementadas de manera consistente y sostenida en el tiempo, pueden conducir a grandes resultados en términos de calidad, eficiencia y satisfacción del cliente (Liker, 2004).

Una de las herramientas clave de *Kaizen* es el ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), también conocido como ciclo de Deming. Este ciclo consta de cuatro etapas iterativas que guían el proceso de mejora continua, como se ilustra en la Figura 39 la cual compara como se hacía antes y la forma actual.

La primera etapa, "*Plan*", implica la identificación de un problema u oportunidad de mejora, el análisis de sus causas raíz y el desarrollo de un plan de acción para abordarlos. En esta etapa, se establecen objetivos claros, se asignan responsabilidades y se definen los indicadores de desempeño que se utilizarán para medir el progreso (Deming, 1986).

En la segunda etapa, "*Do*", se ejecuta el plan de acción desarrollado en la etapa anterior. Esto implica la implementación de las mejoras propuestas, la capacitación del equipo y la recopilación de datos para evaluar la efectividad de las acciones tomadas (Deming, 1986).

La tercera etapa, "*Check*", consiste en el análisis de los resultados obtenidos y la comparación con los objetivos establecidos en la etapa de planificación. Se evalúa si las mejoras implementadas han sido efectivas y se identifican las áreas que aún requieren atención (Deming, 1986).

Finalmente, en la etapa "*Act*", se toman decisiones basadas en los resultados de la etapa de verificación. Si las mejoras han sido exitosas, se estandarizan y se integran en los procesos normales

de trabajo. Si no se han alcanzado los objetivos deseados, se realizan ajustes y se inicia un nuevo ciclo PDCA para abordar los problemas pendientes (Deming, 1986).

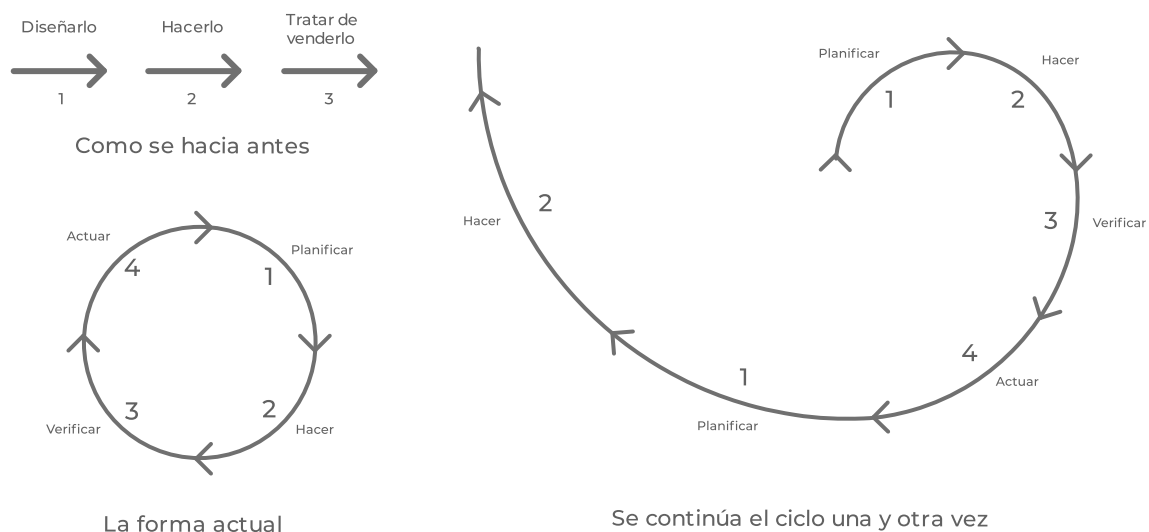


Figura 39. Ciclo anterior y actual PDCA (Plan-Do-Check-Act). Fuente: Elaboración propia con base en Deming (1986).

La aplicación de *Kaizen* y el ciclo PDCA en los proyectos de construcción habitacional sostenible puede abarcar diversas áreas y procesos, desde la planificación y el diseño hasta la ejecución y el control de calidad. Por ejemplo, durante la fase de diseño, el equipo puede utilizar el ciclo PDCA para analizar y mejorar continuamente las estrategias de diseño sostenible, como la selección de materiales eco-amigables, la optimización de la eficiencia energética y la reducción del consumo de agua.

En la fase de construcción, *Kaizen* puede aplicarse para identificar y eliminar desperdicios en los procesos constructivos, como tiempos de espera, movimientos innecesarios y sobreproducción. El equipo puede utilizar herramientas como el *Value Stream Mapping* (VSM) para visualizar y analizar el flujo de valor, identificando oportunidades de mejora y eliminando actividades que no agregan valor (Rother & Shook, 2003).

Además, *Kaizen* fomenta la participación activa y la colaboración de todos los miembros del equipo en la identificación y resolución de problemas. Por ejemplo, se pueden implementar sistemas de sugerencias y reuniones periódicas de mejora continua, donde los trabajadores puedan compartir ideas y proponer soluciones creativas para mejorar la calidad, la seguridad y la eficiencia en el sitio de construcción (Liker, 2004).

Otro aspecto clave de *Kaizen* es la estandarización de los procesos y las mejores prácticas. A medida que se identifican y implementan mejoras exitosas, estas deben documentarse y estandarizarse para garantizar su consistencia y sostenibilidad en el tiempo. Esto implica la creación de procedimientos estándar de trabajo, la capacitación continua del equipo y el seguimiento regular del desempeño (Deming, 1986).

Para sistematizar, *Kaizen* es una poderosa filosofía y metodología de mejora continua que puede aportar mucho a la gestión de proyectos de construcción habitacional. Al fomentar una cultura de participación, colaboración y aprendizaje continuo, *Kaizen* permite identificar y eliminar desperdicios, optimizar procesos y mejorar la calidad y la eficiencia de manera sostenida en el

tiempo. La aplicación del ciclo PDCA y otras herramientas de *Kaizen*, junto con el compromiso y el liderazgo de todo el equipo, puede conducir a resultados excepcionales en términos de sostenibilidad, rentabilidad y satisfacción del cliente.

3.2.9. 5S's

La metodología 5S's es una herramienta que se enfoca en la creación y mantenimiento de un entorno de trabajo organizado, limpio y eficiente. Originada en la industria manufacturera japonesa, las 5S's han demostrado ser altamente efectivas en la mejora de la productividad, la calidad y la seguridad en los proyectos de construcción (Hirano, 1995). El nombre "5S's" proviene de cinco palabras japonesas que representan los cinco pilares de esta metodología: *Seiri* (Clasificar), *Seiton* (Organizar), *Seiso* (Limpiar), *Seiketsu* (Estandarizar) y *Shitsuke* (Disciplina).

La implementación de las 5S's en los proyectos de construcción habitacional puede aportar beneficios significativos en términos de optimización del flujo de trabajo. A continuación, se enlistan los cinco pilares de las 5S's y cómo se pueden aplicar en el contexto de la construcción:

1. *Seiri* (Clasificar): El primer paso consiste en clasificar todos los elementos en el sitio de construcción, separando lo necesario de lo innecesario. Esto implica identificar herramientas, materiales y equipos que son esenciales para las tareas actuales y eliminar o reubicar aquellos que no lo son. Al eliminar los elementos innecesarios, se libera espacio valioso y se reduce el riesgo de accidentes y distracciones (Leino et al., 2014).

2. *Seiton* (Organizar): Una vez que se han clasificado los elementos necesarios, el siguiente paso es organizarlos de manera eficiente y ergonómica. Esto implica designar un lugar específico para cada herramienta, material y equipo, y asegurarse de que estén fácilmente accesibles cuando se necesiten. La organización adecuada reduce los tiempos de búsqueda y los movimientos innecesarios, mejorando así la productividad y la seguridad en el sitio de construcción (Leino et al., 2014).

3. *Seiso* (Limpiar): El tercer pilar se enfoca en mantener un entorno de trabajo limpio y ordenado. Esto implica la limpieza regular de herramientas, equipos y áreas de trabajo, así como la eliminación de polvo, escombros y otros residuos. Un sitio de construcción limpio no solo mejora la seguridad y la salud de los trabajadores, sino que también facilita la identificación temprana de problemas y anomalías, como fugas o daños en los equipos (Leino et al., 2014).

4. *Seiketsu* (Estandarizar): El cuarto pilar busca mantener los logros alcanzados en las tres primeras S's mediante la estandarización de las mejores prácticas. Esto implica el desarrollo de procedimientos operativos estándar, directrices visuales y sistemas de gestión que aseguren la consistencia y la continuidad de las prácticas de clasificación, organización y limpieza. La estandarización ayuda a prevenir la acumulación de desorden y a mantener un entorno de trabajo eficiente a lo largo del proyecto (Leino et al., 2014).

5. *Shitsuke* (Disciplina): El quinto y último pilar se centra en la creación de una cultura de disciplina y compromiso con las prácticas de las 5S's. Esto implica la capacitación continua de los trabajadores, la promoción de la participación activa y la responsabilidad individual en el mantenimiento de un entorno de trabajo organizado y eficiente. La disciplina es esencial para sostener los logros de las 5S's a largo plazo y asegurar la mejora continua en el proyecto (Leino et al., 2014).

La Figura 40 ilustra los cinco pilares de las 5S's y su aplicación en el contexto de un proyecto de construcción.

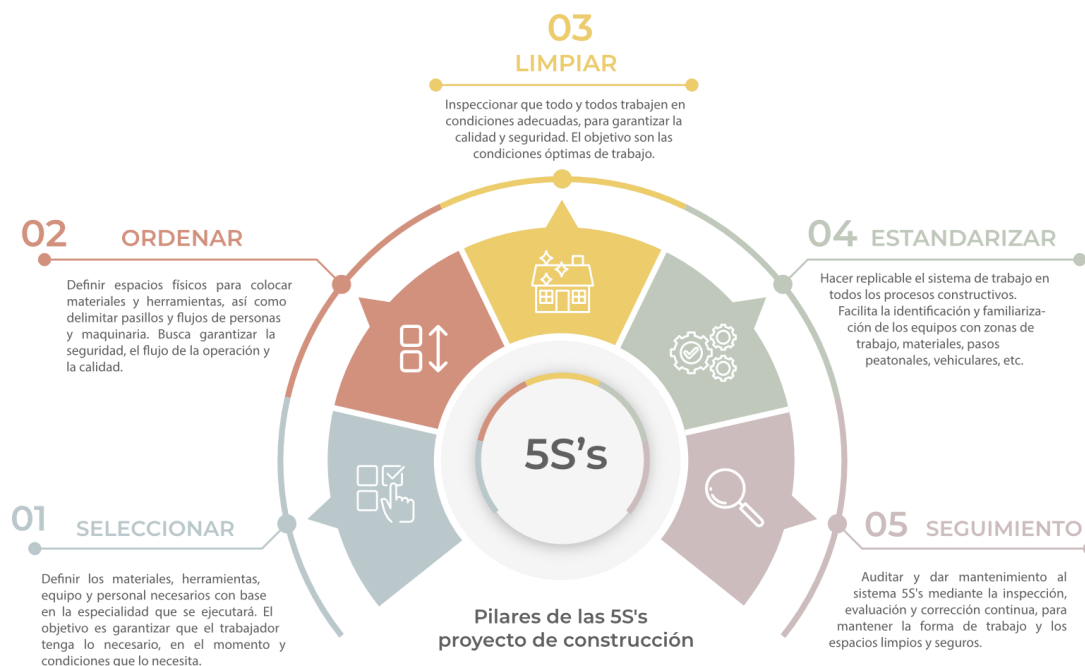


Figura 40. Los cinco pilares de las 5S's en un proyecto de construcción. Fuente: Elaboración propia con base en Hirano (1995).

Dentro de una implementación exitosa de las 5S's, se deben establecer métricas y sistemas de auditoría para evaluar el progreso y el cumplimiento de las prácticas de las 5S's, por ejemplo, se pueden realizar auditorías periódicas utilizando listas de verificación y criterios de evaluación específicos para cada pilar de las 5S's. Estas auditorías pueden incluir la inspección visual de las áreas de trabajo, la revisión de los procedimientos estándar y la recopilación de comentarios y sugerencias de los trabajadores. Los resultados de las auditorías deben comunicarse al equipo y utilizarse para identificar oportunidades de mejora y establecer planes de acción correctiva (Salem et al., 2005).

Además, la implementación de las 5S's puede complementarse con otras herramientas y técnicas de *Lean Construction*, como el *Last Planner System* (LPS) y el *Value Stream Mapping* (VSM). Por ejemplo, el LPS puede utilizarse para planificar y controlar el flujo de trabajo, asegurando que las actividades se realicen de manera organizada y eficiente, mientras que el VSM puede ayudar a identificar y eliminar desperdicios en los procesos constructivos (Ballard, 2000; Rother & Shook, 2003).

La metodología 5S's es una poderosa herramienta sobre todo a la hora de la ejecución del proyecto, esta herramienta puede transformar la gestión de proyectos de construcción habitacional. Al crear y mantener un entorno de trabajo organizado, limpio y eficiente, las 5S's permiten mejorar la productividad y aumentar la seguridad y la calidad en el sitio de construcción. La implementación exitosa de las 5S's requiere el compromiso y la participación activa de todos los miembros del equipo, así como la estandarización de las mejores prácticas y la promoción de una cultura de disciplina y mejora continua. Combinada con otras herramientas y técnicas de *Lean Construction*, las 5S's pueden conducir a resultados excepcionales en términos de eficiencia, sostenibilidad y satisfacción del cliente en los proyectos de construcción.

3.2.10. BIM (Building Information Modeling)

Building Information Modeling (BIM) es una metodología innovadora que ha revolucionado la forma en que se diseñan, construyen y gestionan los proyectos de construcción. BIM trasciende la simple representación tridimensional de un edificio, convirtiéndose en un enfoque integral que combina tecnología, procesos y colaboración para optimizar el ciclo de vida completo de un proyecto (Eastman et al., 2011).

En esencia, BIM se basa en la creación y gestión de modelos digitales paramétricos que contienen información detallada sobre todos los aspectos de un edificio, desde su geometría y materiales hasta su desempeño energético y costos asociados. Estos modelos actúan como una fuente única de verdad, permitiendo a todos los interesados del proyecto acceder, compartir y actualizar la información de manera coordinada y en tiempo real (Azhar, 2011).

La implementación de BIM en los proyectos de construcción ofrece numerosos beneficios. En primer lugar, BIM permite la detección temprana de conflictos y la coordinación efectiva entre las diferentes disciplinas, como arquitectura, estructura y sistemas mecánicos, eléctricos y de plomería (MEP). Al integrar toda la información en un único modelo, es posible identificar y resolver interferencias antes de que se conviertan en problemas costosos y *time-consuming* durante la construcción (Eastman et al., 2011).

Además, BIM facilita la toma de decisiones informada y la optimización del diseño en términos de sostenibilidad. Mediante el uso de herramientas de análisis integradas, como la simulación energética y el cálculo de la huella de carbono, los equipos de proyecto pueden evaluar múltiples escenarios y seleccionar las estrategias más efectivas para reducir el impacto ambiental y mejorar el desempeño del edificio a lo largo de su ciclo de vida (Azhar, 2011).

La Figura 41 muestra un ejemplo de cómo BIM puede integrar diferentes aspectos de la sostenibilidad en un modelo digital. En este caso, se visualiza un análisis de la eficiencia energética de una vivienda, considerando factores como la orientación, la envolvente térmica y los sistemas de climatización. Esta información permite a los diseñadores y constructores tomar decisiones informadas para optimizar el desempeño energético y reducir los costos operativos a largo plazo.

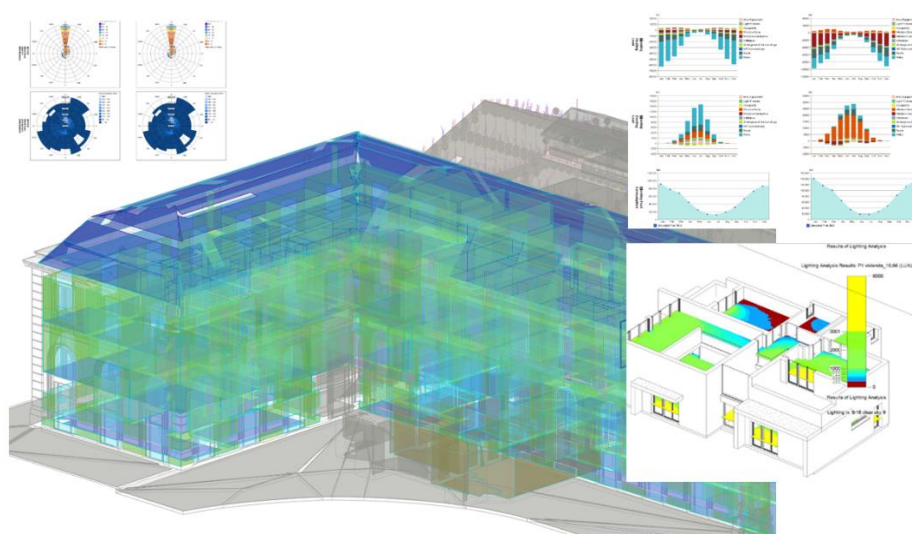


Figura 41. Ejemplo de análisis de eficiencia energética utilizando BIM. Fuente: Acero Estudio (s.f.).

Otro beneficio clave de BIM es su capacidad para fomentar la colaboración y la comunicación efectiva entre todos los actores del proyecto. Al trabajar sobre un modelo compartido en la nube, los equipos pueden acceder a la información actualizada en cualquier momento y lugar, facilitando la coordinación y la toma de decisiones conjunta. Además, BIM permite la generación automática de documentación, como planos, especificaciones y cronogramas, reduciendo errores y ahorrando tiempo y recursos valiosos (Eastman et al., 2011).

La Figura 42 ilustra cómo BIM puede servir como una plataforma de colaboración para los diferentes interesados del proyecto. En este ejemplo, arquitectos, ingenieros, constructores y especialistas en sostenibilidad trabajan de manera integrada sobre un modelo BIM compartido, aportando su experiencia y conocimientos para optimizar el diseño y la construcción de una vivienda sostenible. Esta colaboración temprana y continua es fundamental para lograr los objetivos de sostenibilidad y calidad del proyecto.

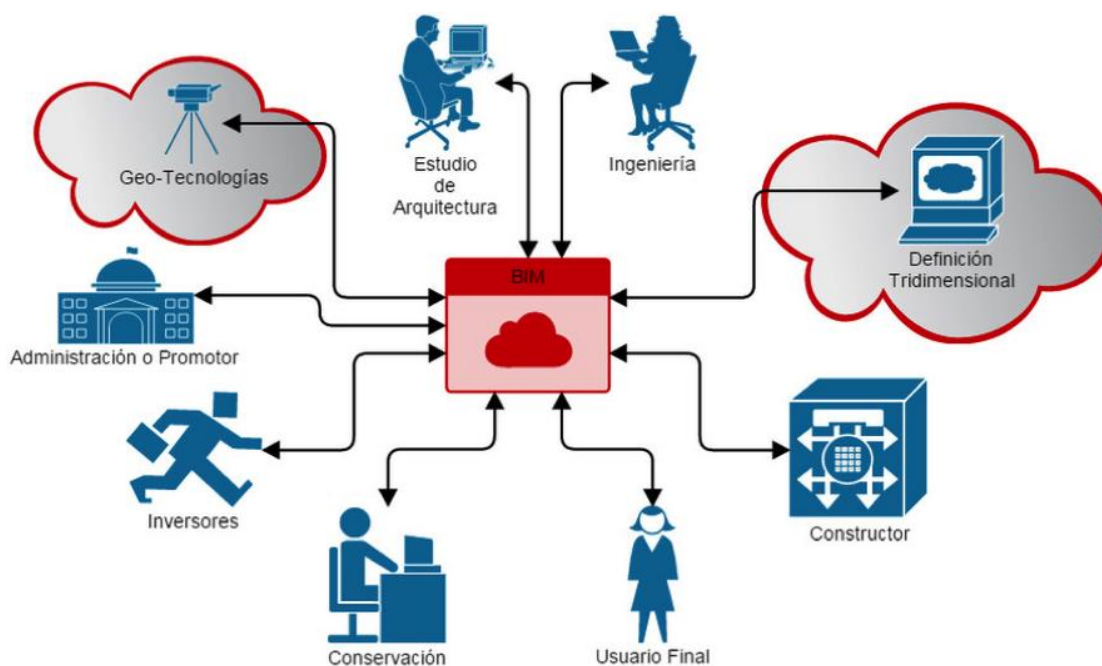


Figura 42. Ejemplo gráfico de colaboración multidisciplinaria utilizando BIM. Fuente: Choccata Quispe (2021).

Además de sus beneficios durante el diseño y la construcción, BIM también ofrece un gran potencial para la gestión y operación de las viviendas a lo largo de su ciclo de vida. El modelo BIM puede servir como una base de datos dinámica que contenga información sobre el mantenimiento, las garantías y el desempeño real del edificio. Esta información puede utilizarse para optimizar las estrategias de mantenimiento predictivo, reducir los costos operativos y mejorar el confort y la satisfacción de los usuarios (Azhar, 2011).

Sin embargo, para la implementación exitosa de BIM en los proyectos de construcción es necesario capacitar a los equipos en el uso de las herramientas BIM y establecer protocolos claros para la gestión de la información y la colaboración. Además, se deben adaptar los contratos y los modelos de entrega de proyectos para fomentar la integración temprana y la alineación de incentivos entre los diferentes actores (Eastman et al., 2011).

En definitiva, *Building Information Modeling* (BIM) se presenta como una metodología transformadora para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible. Al integrar tecnología, procesos y colaboración, BIM permite optimizar el diseño, la construcción y la operación de las viviendas, maximizando su desempeño ambiental, social y económico. La implementación efectiva de BIM requiere un enfoque multidisciplinario, la capacitación de los equipos y la adaptación de los procesos y contratos tradicionales. Sin embargo, los beneficios potenciales en términos de eficiencia, calidad y sostenibilidad hacen que BIM sea una herramienta indispensable para enfrentar los desafíos de la construcción habitacional en los tiempos actuales.

3.2.11. Just-In-Time (JIT)

Just-In-Time (JIT) es una estrategia de gestión de la producción y el inventario que se originó en la industria manufacturera japonesa y ha sido adaptada con éxito a la construcción como parte de la filosofía *Lean Construction*. El objetivo principal de JIT es alinear la entrega de materiales, componentes y recursos con la demanda real del proyecto, minimizando así los desperdicios asociados con el inventario excesivo, el transporte innecesario y el deterioro de los materiales (Pheng & Chuan, 2001).

En el contexto de los proyectos de construcción habitacional sostenible, la implementación de JIT puede aportar beneficios significativos en términos de eficiencia, calidad y sostenibilidad. Al sincronizar la entrega de materiales con el cronograma de construcción, JIT permite reducir los costos de almacenamiento, el riesgo de daños y pérdidas, y el impacto ambiental asociado con el transporte y la manipulación excesiva de materiales (Ballard & Howell, 1998).

La Figura 43 ilustra el concepto de JIT en comparación con el enfoque tradicional de gestión de inventario en la construcción. En el enfoque tradicional, los materiales se solicitan y almacenan en grandes cantidades en el sitio de construcción, lo que genera desperdicios y costos adicionales. En contraste, JIT se basa en la entrega de materiales en pequeños lotes, justo a tiempo para su uso en las actividades de construcción programadas. Esto requiere una estrecha coordinación con los proveedores y una planificación detallada de las necesidades de materiales a lo largo del proyecto (Pheng & Chuan, 2001).

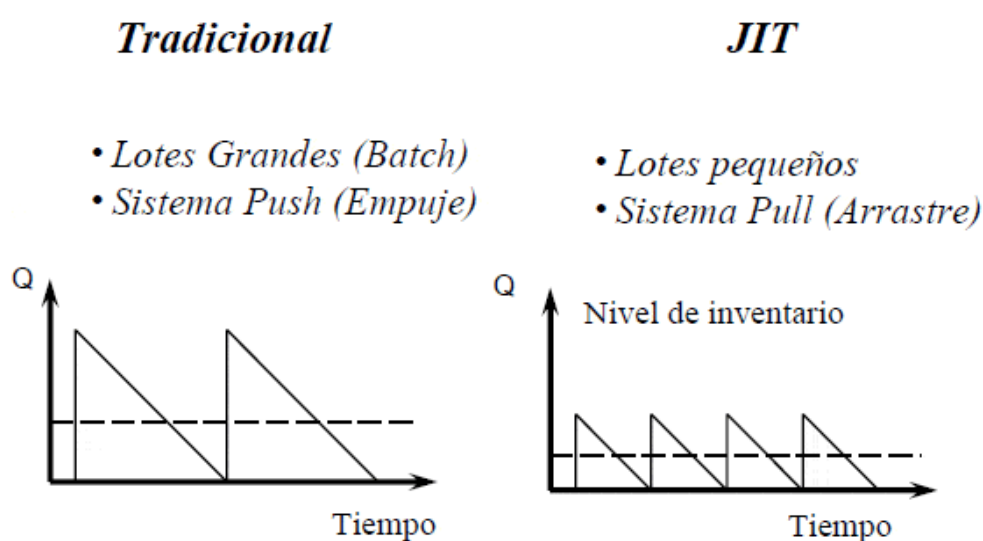


Figura 43. Comparación entre el enfoque tradicional de gestión de inventario y Just-In-Time (JIT) en la construcción. Fuente: Gestión de Operaciones (2016).

Para la implementar JIT de manera efectiva en los proyectos de construcción habitacional sostenible, es necesario seguir varios pasos clave. En primer lugar, se debe establecer una estrecha colaboración y comunicación con los proveedores, compartiendo información detallada sobre los requisitos de materiales y los plazos de entrega. Esto implica el desarrollo de relaciones a largo plazo basadas en la confianza y el beneficio mutuo (Ballard & Howell, 1998).

Además, es fundamental contar con una planificación y programación precisa de las actividades de construcción, utilizando herramientas como el *Last Planner System* (LPS) y el *Takt Planning*. Estas herramientas permiten desglosar el trabajo en paquetes manejables y establecer un flujo de trabajo estable y predecible, lo que facilita la coordinación de las entregas de materiales justo a tiempo (Tommelein, 1998).

Otro aspecto clave de JIT es la estandarización de los materiales y componentes utilizados en el proyecto. Al reducir la variabilidad y utilizar elementos modulares y prefabricados, se facilita la gestión del inventario y se reducen los tiempos de espera y los desperdicios asociados con la fabricación y el ajuste en el sitio de construcción (Ballard & Howell, 1998).

Es importante destacar que la implementación exitosa de JIT en los proyectos de construcción requiere de la colaboración con los proveedores y la planificación detallada, es necesario contar con sistemas de información y comunicación eficientes que permitan el seguimiento en tiempo real del inventario y el estado de las entregas (Pheng & Chuan, 2001).

Como conclusión, Just-In-Time (JIT) es una estrategia valiosa para optimizar la gestión de materiales y recursos en los proyectos de construcción. Al alinear la entrega de materiales con la demanda real del proyecto, JIT permite reducir desperdicios, costos y el impacto ambiental asociado con el inventario excesivo y el transporte innecesario. La implementación efectiva de JIT requiere una estrecha colaboración con los proveedores, una planificación detallada y el uso de herramientas como el *Last Planner System* y el *Takt Planning*. Además, la estandarización de materiales y el uso de elementos prefabricados pueden facilitar la aplicación de JIT y mejorar la calidad y eficiencia del proyecto. Con un enfoque de mejora continua y el compromiso de todos los involucrados, JIT puede contribuir significativamente a la entrega exitosa de viviendas sostenibles, eficientes y de alta calidad.

3.2.12. Portafolio de Kraljic

El Portafolio de Kraljic es una herramienta estratégica de gestión de compras y suministros que ha ganado relevancia en la industria de la construcción. Desarrollado por Peter Kraljic en 1983, este modelo permite clasificar los materiales, productos y servicios adquiridos en función de su impacto en el proyecto y el riesgo asociado con su suministro. El objetivo principal del Portafolio de Kraljic es optimizar la gestión de la cadena de suministro, reducir los riesgos y maximizar el valor generado para el proyecto (Kraljic, 1983).

La implementación del Portafolio de Kraljic en los proyectos de construcción habitacional sostenible implica un proceso sistemático de análisis y toma de decisiones. En primer lugar, se deben identificar todos los materiales, productos y servicios necesarios para el proyecto y evaluar su impacto en términos de costo, calidad y sostenibilidad. A continuación, se analiza el riesgo asociado con el suministro de cada elemento, considerando factores como la disponibilidad, la variabilidad de precios, la complejidad técnica y la presencia de proveedores alternativos (Gelderman & Van Weele, 2003).

Con base en esta evaluación, los elementos se clasifican en cuatro categorías principales enlistadas a continuación y como se ilustra en la Figura 44:

Productos Rutinarios: Son elementos de bajo impacto y bajo riesgo de suministro, como materiales estándar y consumibles. La estrategia de compra para estos elementos se enfoca en la eficiencia y la reducción de costos administrativos.

Productos Críticos: Son elementos de bajo impacto, pero alto riesgo de suministro, debido a su escasez o a la presencia de pocos proveedores. La estrategia de compra para estos elementos se centra en asegurar el suministro y desarrollar planes de contingencia.

Productos de Apoyo: Son elementos de alto impacto, pero bajo riesgo de suministro, como materiales y equipos comunes con múltiples proveedores. La estrategia de compra para estos elementos se enfoca en aprovechar el poder de negociación y obtener los mejores precios y condiciones.



Figura 44. Matriz del Portafolio de Kraljic con las cuatro categorías de productos y ejemplos. Fuente: Elaboración propia con base en Kraljic (1983).

Productos Estratégicos: Son elementos de alto impacto y alto riesgo de suministro, como materiales y tecnologías especializadas o críticas para el proyecto. La estrategia de compra para estos elementos se basa en el desarrollo de alianzas estratégicas con proveedores clave y la gestión proactiva de riesgos.

Una vez clasificados los elementos en estas categorías, se desarrollan estrategias de compra y gestión de proveedores específicas para cada grupo. Por ejemplo, para los productos estratégicos, se pueden establecer contratos a largo plazo con proveedores seleccionados, compartir información y riesgos, e invertir en el desarrollo conjunto de soluciones innovadoras y sostenibles (Dubois & Pedersen, 2002).

La Figura 45 presenta una representación gráfica de la matriz la matriz de la cartera de compras, que ilustra la clasificación de los proveedores o productos en función de dos dimensiones: el poder del proveedor y el poder del comprador (Kraljic, 1983). Esta matriz permite visualizar de manera clara las diferentes categorías de productos y las estrategias de gestión asociadas a cada una de ellas.

En el eje horizontal, se representa el poder del proveedor, que puede ser bajo, medio o alto. Este poder se refiere a la capacidad del proveedor para influir en las condiciones de suministro, como los precios, la calidad y la disponibilidad. En el eje vertical, se representa el poder del comprador, que también puede ser bajo, medio o alto. Este poder se refiere a la capacidad del comprador para negociar y obtener condiciones favorables por parte de los proveedores (Gelderman & Van Weele, 2003).

Además, la matriz incluye tres estrategias generales aplicables a las diferentes categorías de productos: explorar, buscar equilibrio y diversificar. Estas estrategias proporcionan una orientación adicional para la toma de decisiones y la gestión de las relaciones con los proveedores en función de su poder relativo y el poder del comprador (Gelderman & Van Weele, 2003).

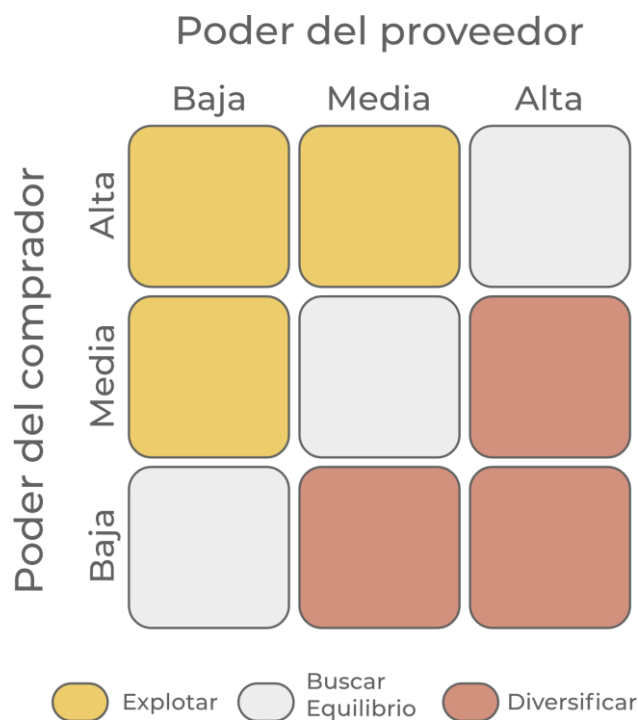


Figura 45. Matriz de la cartera de compras Fuente: Elaboración propia con base en Kraljic (1983).

En resumen, el Portafolio de Kraljic es una herramienta poderosa para optimizar la gestión de compras y suministros en los proyectos de construcción habitacional sostenible. Al clasificar los materiales, productos y servicios en función de su impacto y riesgo de suministro, este modelo permite desarrollar estrategias de compra y gestión de proveedores adaptadas a cada categoría. La implementación efectiva del Portafolio de Kraljic requiere un enfoque multidisciplinario, sistemas de información adecuados y una cultura de gestión de riesgos y mejora continua. Con el uso adecuado de esta herramienta, los equipos de proyecto pueden reducir los riesgos, optimizar los costos y asegurar el suministro de elementos críticos para el éxito del proyecto y el logro de los objetivos de sostenibilidad.

3.2.13. IQP, *Integrated Quality Process* (Calidad Integrada en el Proceso)

El *Integrated Quality Process* (IQP), o Proceso de Calidad Integrada, es un enfoque que busca incorporar la gestión de la calidad en todos los procesos y fases de un proyecto de construcción, desde el diseño hasta la entrega final. El objetivo principal de IQP es asegurar que los requisitos y expectativas del cliente se cumplan de manera consistente, al tiempo que se optimizan los recursos y se minimiza el riesgo de errores y defectos (Liker, 2004).

La implementación de IQP en los proyectos de construcción habitacional sostenible implica un cambio de paradigma en la forma en que se aborda la calidad. En lugar de considerar la calidad como una actividad de inspección al final del proceso, IQP promueve la integración de la calidad en cada etapa del proyecto, involucrando a todos los participantes y fomentando una cultura de mejora continua (Liker, 2004).

Un aspecto clave de IQP es la definición clara y detallada de los requisitos de calidad desde el inicio del proyecto. Esto implica la colaboración estrecha entre el equipo de proyecto, los clientes y otros interesados clave para identificar y documentar las expectativas y criterios de calidad específicos para cada entregable y fase del proyecto (Arditi & Gunaydin, 1997).

Una vez definidos los requisitos de calidad, IQP se enfoca en la incorporación de actividades y herramientas de gestión de calidad en cada fase del proyecto. Por ejemplo, durante la fase de diseño, se pueden utilizar técnicas como el *Quality Function Deployment* (QFD) el cual se ilustra en la Figura 47 para traducir las necesidades del cliente en características de diseño medibles y verificables (Jørgensen et al., 2004). Además, se pueden aplicar revisiones de diseño y simulaciones para detectar y corregir posibles problemas de calidad antes de pasar a la fase de construcción.

Durante la fase de construcción, IQP promueve la aplicación de herramientas y técnicas de control de calidad en tiempo real, como el uso de listas de verificación, inspecciones visuales y pruebas de desempeño. Estas actividades permiten identificar y corregir desviaciones de calidad de manera oportuna, evitando que los problemas se propaguen y generen costos adicionales (Arditi & Gunaydin, 1997).

La implementación de un *Integrated Quality Process* (IQP) en los proyectos de construcción habitacional a gran escala es fundamental para asegurar el cumplimiento de los requisitos y expectativas de los clientes, optimizar los recursos y minimizar los errores y defectos. El proceso de gestión integrada de la calidad, como se ilustra en la Figura 46, abarca desde la definición de los parámetros críticos hasta la implementación y seguimiento continuo (Arditi & Gunaydin, 1997).

Este enfoque, alineado con los principios de IQP, busca integrar la calidad en todas las fases del proyecto, involucrando a todos los participantes y fomentando una cultura de mejora continua (Jørgensen et al., 2004). La Figura 46 presenta un proceso integral que incluye etapas como la documentación base, preliminares, administración de la calidad para guiar las acciones preventivas y correctivas a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

La aplicación efectiva de un proceso de gestión integrada de la calidad puede conducir a una mayor eficiencia, reducción de errores y defectos, y una mayor satisfacción del cliente en los proyectos de construcción (Battikha, 2003). Al seguir las fases y actividades clave ilustradas en la Figura 46, los equipos de proyectos de construcción pueden establecer un marco sólido para la gestión de la calidad, adaptado a las necesidades específicas de cada proyecto de construcción habitacional sostenible.

Proceso	Categoría	Conceptos	Parámetros
1. Documentación base.	Crítico	1.1 Proyecto Ejecutivo.	Entrega formal
		1.2 Explosión de insumos.	Entrega formal
		1.3 Permisos.	Entrega formal
		1.4 Resto de documentación conforme a check list de base documental.	Entrega formal
2. Preliminares.	Principal	2.1 Alta de bitácora.	Firmada y en obra
		2.2 Entrega-recepción de polígono de apoyo. (Estaciones y banco de nivel).	Completado y conforme
		2.3 Replanteo, trasladar la geometría del proyecto representada en los planos al terreno.	Completado y conforme
		2.4 Despalme de terreno por medios mecánicos.	20 cm de espesor.
		2.5 Carga con máquina y acarreo, de los materiales producto del despalme, cortes y limpiezas.	Depositado en un tiro autorizado por las dependencias ambientales correspondientes. Transportado en camiones de volteo, sin excedentes (no copeteados) y cubiertos por una lona.
		2.6 Revisión de medidas y niveles del terreno. (Posterior a despalmes y movimientos de tierras del frente de trabajo).	Completado y conforme

Administración de la calidad en proyectos de construcción

Ejemplo

1. Identificar y categorizar los procesos constructivos a controlar.
2. Definir las especificaciones de los procesos constructivos a controlar.
3. Definir las tolerancias de las especificaciones de construcción.
4. Implementar el proceso de calidad en cada proyecto.

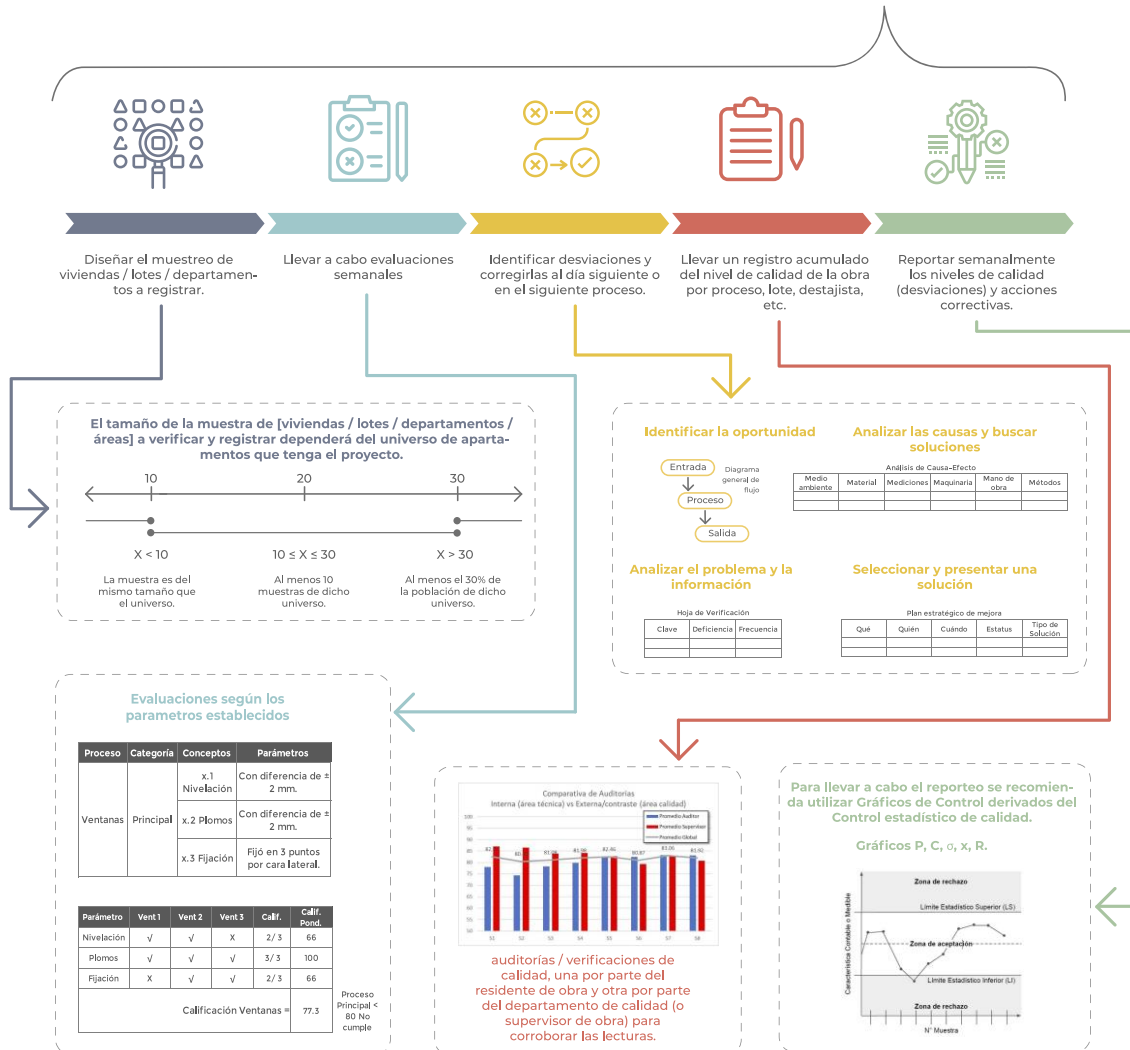


Figura 46. Proceso de administración de la calidad en proyectos de construcción Fuente: Elaboración propia con base en DAIN (2021) y Arditi & Gunaydin (1997)

Quality Function Deployment

Project title:
 Project leader:
 Date:

		<table border="1"> <tr><td>+</td><td>.</td><td>-</td></tr> <tr><td>Positive</td><td>No correlation</td><td>Negative</td></tr> </table>					+	.	-	Positive	No correlation	Negative	
+	.	-											
Positive	No correlation	Negative											
		<table border="1"> <tr><td>9</td><td>3</td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>Strong</td><td>Moderate</td><td>Weak</td><td>None</td></tr> </table>				9	3	1		Strong	Moderate	Weak	None
9	3	1											
Strong	Moderate	Weak	None										
		Competitive evaluation (1: low, 5: high)											
1: low, 5: high	Desired direction of improvement (↑,↓)					Weighted Score	Satisfaction rating	Competitor rating 1	Competitor rating 2	Competitor rating 3			
Customer importance rating	Functional Requirements (How's) →					0							
	Customer Requirements - (What's) ↓					0							
1						0							
2						0							
3						0							
4						0							
5						0							
6						0							
7						0							
8						0							
9						0							
	Technical importance score	0	0	0	0	0							
	Importance %					0%							
	Priorities rank	1	1	1	1								
	Current performance												
	Target												
	Benchmark												
	Difficulty												
	Cost and time												
	Priority to improve												

1: very easy, 5: very difficult
 1: low, 5: high

Comments/Conclusion:

Figura 47. Casa de la calidad / Despliegue de la función calidad Fuente: CIToolkit (s.f.).

Otro aspecto importante de IQP es la medición y el seguimiento continuo del desempeño de calidad. Esto implica el uso de indicadores clave de rendimiento (KPI) y herramientas de análisis para evaluar el cumplimiento de los requisitos de calidad tales como el segundo proceso del punto 4 dentro de la Figura 46, identificar tendencias y oportunidades de mejora (Liker, 2004). La información generada a través de estas mediciones se utiliza para retroalimentar el proceso de gestión de calidad y realizar ajustes según sea necesario.

En conclusión, el *Integrated Quality Process (IQP)* es un enfoque poderoso para incorporar la gestión de la calidad en todas las fases de un proyecto de construcción habitacional sostenible. Al definir claramente los requisitos de calidad, integrar actividades de control de calidad en cada etapa y promover la mejora continua, IQP permite asegurar que los entregables del proyecto cumplan con las expectativas del cliente y los estándares de sostenibilidad. La implementación efectiva de IQP requiere un compromiso de liderazgo, la capacitación de los equipos y la adopción de una cultura de calidad en toda la organización. Con el uso adecuado de esta herramienta, los equipos de proyecto pueden optimizar los recursos, minimizar los errores y defectos, y entregar viviendas sostenibles de alta calidad que satisfagan las necesidades de los usuarios finales.

3.2.14. Poka Yoke

Poka Yoke es una técnica de calidad que se origina en la filosofía *Lean Manufacturing* y se ha adaptado con éxito a la industria de la construcción como parte de *Lean Construction*. El término "*Poka Yoke*" proviene del japonés y significa "a prueba de errores". El objetivo principal de esta técnica es prevenir o detectar errores y defectos lo más cerca posible de su fuente de origen, idealmente antes de que ocurran (Shingo, 1986).

La implementación de *Poka Yoke* en los proyectos de construcción puede aportar beneficios significativos en términos de calidad, seguridad y eficiencia. Al diseñar e incorporar mecanismos y dispositivos que eviten o alerten sobre posibles errores, se reduce la probabilidad de que estos errores se conviertan en defectos que afecten la calidad del producto final o generen riesgos para los trabajadores (Dos Santos & Powell, 1999).

Existen dos tipos principales de *Poka Yoke*: los métodos de control y los métodos de advertencia. Los métodos de control están diseñados para prevenir que ocurran errores, mientras que los métodos de advertencia están diseñados para detectar errores y alertar al usuario para que pueda tomar medidas correctivas (Shingo, 1986).

La Figura 48 ilustra algunos ejemplos de estos 2 metodos *Poka Yoke* que pueden aplicarse en proyectos de construcción:

La implementación de *Poka Yoke* en la construcción implica un análisis detallado de los procesos y la identificación de los posibles puntos de error. A partir de este análisis, se diseñan e implementan soluciones específicas para cada caso, ya sean métodos de control o advertencia. Es importante involucrar a los trabajadores y a todos los interesados en el proceso de diseño e implementación, ya que su conocimiento y experiencia son fundamentales para identificar los riesgos y desarrollar soluciones efectivas (Dos Santos & Powell, 1999).

Además de prevenir errores y defectos, *Poka Yoke* también contribuye a la estandarización de los procesos y a la reducción de la variabilidad. Al incorporar mecanismos a prueba de errores, se asegura que las tareas se realicen de manera consistente y según lo especificado, lo que a su vez facilita la mejora continua y el aprendizaje organizacional (Dos Santos & Powell, 1999).

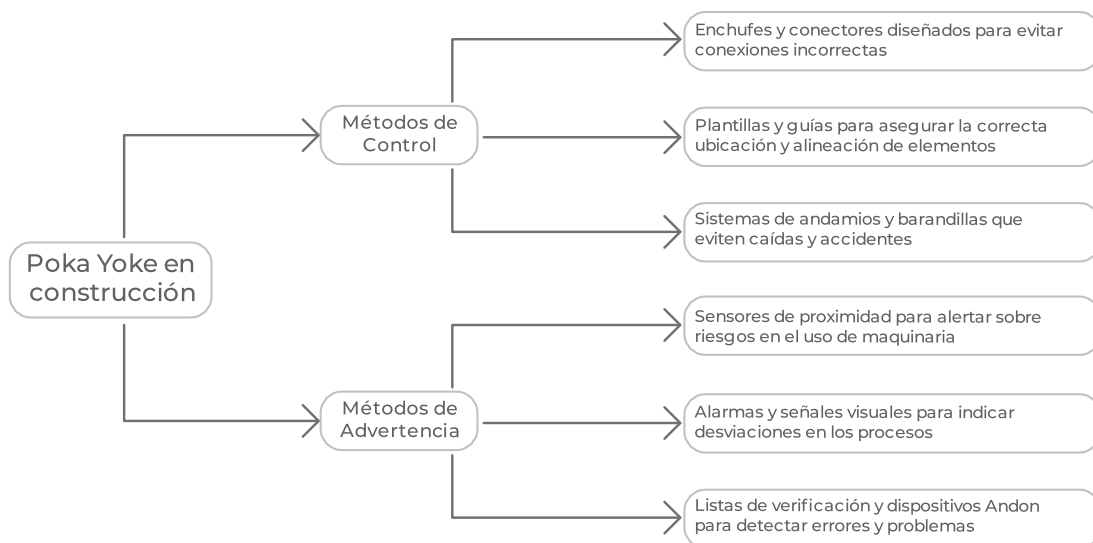


Figura 48. Ejemplos de métodos de control y advertencia *Poka Yoke* en proyectos de construcción. Fuente: Elaboración propia con base en Shingo (1986).

Esta herramienta es una poderosa técnica de calidad que puede mejorar significativamente la calidad, seguridad y eficiencia en los proyectos de construcción. Al prevenir y detectar errores en su fuente de origen, *Poka Yoke* reduce la probabilidad de defectos y riesgos, contribuyendo así a la entrega de viviendas de alta calidad que satisfagan las necesidades y expectativas de los usuarios finales. La implementación efectiva de *Poka Yoke* requiere un enfoque sistemático, la participación activa de todos los interesados y una cultura de calidad y mejora continua en la organización.

3.3 Integración de Certificación LEED

En este apartado se detallará el proceso de integración de la certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) en el proyecto de construcción, con un enfoque en la implementación concreta de los requisitos y estrategias necesarias para obtener esta certificación de sostenibilidad.

Se abordará la selección del sistema de calificación LEED más adecuado para el tipo proyecto, considerando las características específicas de la construcción y sus objetivos de sostenibilidad. Luego, se presentará la planificación y estrategia de certificación, destacando la importancia de una gestión estructurada y eficiente para cumplir con los estándares LEED.

Posteriormente, se describirá la implementación de los requisitos LEED tanto en la fase de diseño como en la de construcción, enfatizando las mejores prácticas y los procedimientos necesarios para asegurar el cumplimiento de los criterios establecidos. También se cubrirán aspectos cruciales como la documentación y control del proceso, garantizando la correcta recopilación y gestión de la información requerida para la certificación.

Asimismo, se explicará el proceso de auditorías y revisión por el USGBC (U.S. *Green Building Council*), el organismo responsable de la certificación LEED, detallando los momentos clave y los procedimientos a seguir para las revisiones y evaluaciones. Finalmente, se explorará la etapa de validación y certificación final, y se abordará el mantenimiento post-certificación, asegurando que el edificio continúe operando de manera sostenible y eficiente a lo largo del tiempo.

En pocas palabras este apartado pretende proporcionar una guía para integrar de manera efectiva la certificación LEED en el proyecto.

3.3.1. Selección del Sistema de Calificación LEED

La selección del sistema de calificación LEED adecuado es un paso crucial para asegurar que el proyecto de construcción cumpla con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética deseados. Este proceso comienza con la identificación del sistema de calificación que mejor se alinee con las características y objetivos específicos del proyecto. La certificación LEED ofrece diversos sistemas de calificación, cada uno diseñado para diferentes tipos de proyectos, tales como LEED BD+C (*Building Design and Construction*), LEED ID+C (*Interior Design and Construction*), y LEED O+M (*Operations and Maintenance*) (USGBC, 2024).

Para un proyecto de construcción nuevo, LEED BD+C es generalmente el sistema más apropiado, ya que está específicamente diseñado para edificios nuevos y renovaciones importantes. Este sistema de calificación abarca varias subcategorías, incluyendo LEED *for New Construction*, LEED *for Core and Shell*, y LEED *for Schools*, cada una con criterios específicos que se adaptan a diferentes tipos de edificaciones y usos. La elección de la subcategoría adecuada debe basarse en el tipo de uso del edificio y sus requisitos funcionales (USGBC, 2024).

Una vez identificado el sistema de calificación más adecuado, el siguiente paso es registrar el proyecto con el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (USGBC). Este registro formaliza el compromiso del proyecto con la certificación LEED y proporciona acceso a los recursos y soporte necesarios para el proceso de certificación. El registro implica la creación de un perfil del proyecto en la plataforma LEED Online, donde se ingresarán todos los datos relevantes del proyecto y se gestionará la documentación requerida para la certificación (USGBC, 2024).

Durante la fase de selección y registro, es fundamental formar un equipo de sostenibilidad, que será responsable de integrar los principios y requisitos de LEED en todas las etapas del proyecto. Este equipo debe incluir a profesionales certificados LEED AP (*Accredited Professional*), quienes aportan el conocimiento especializado necesario para guiar el proyecto a través de los diversos requisitos de la certificación. La formación del equipo también debe considerar la colaboración entre arquitectos, ingenieros, y contratistas, asegurando que todos los involucrados comprendan y se comprometan con los objetivos de sostenibilidad del proyecto (USGBC, 2024).

La elección del sistema de calificación adecuado y la formación de un equipo de sostenibilidad son esenciales para asegurar que el proyecto no sólo cumpla con los criterios de certificación LEED, sino que también maximice sus beneficios en términos de eficiencia energética, reducción de impacto ambiental y mejora de la calidad de vida de los ocupantes. Esta etapa inicial establece las bases para una implementación exitosa de LEED en todas las fases subsiguientes del proyecto.

En definitiva, la selección del sistema de calificación LEED implica identificar el sistema que mejor se adapte al proyecto, registrar formalmente el proyecto con el USGBC, y formar un equipo de sostenibilidad competente y comprometido. Este proceso es esencial para garantizar que el proyecto se alinee con los estándares de sostenibilidad y eficiencia que promueve LEED, asegurando así su éxito a largo plazo.

3.3.2. Planificación y Estrategia de Certificación

La planificación y la estrategia para la certificación LEED constituyen una fase esencial para la integración exitosa de los principios de sostenibilidad en un proyecto de construcción. Esta etapa comienza con la definición clara de los objetivos de sostenibilidad y la determinación de los créditos LEED que se pretenden alcanzar, considerando las características específicas del proyecto y las metas ambientales y energéticas establecidas por el equipo de trabajo y los propietarios.

Primero, se deben realizar reuniones iniciales de planificación, donde el equipo de sostenibilidad, liderado por un profesional acreditado LEED AP, colabora estrechamente con todas las partes interesadas como arquitectos, ingenieros, y contratistas, idealmente todos con experiencia en prácticas de construcción sostenible. Estas reuniones tienen el propósito de asegurar que todos comprendan los requisitos y beneficios de la certificación LEED y están comprometidos con los objetivos del proyecto. Durante estas reuniones, se desarrollan estrategias específicas para alcanzar los créditos seleccionados, que se dividen en varias categorías, tales como eficiencia en el uso del agua, energía y atmósfera, materiales y recursos, y calidad ambiental interior. Cada categoría contiene créditos que se pueden obtener mediante el cumplimiento de ciertos criterios, y el equipo debe identificar cuáles son más viables y beneficiosos para el proyecto (USGBC, 2024).

Una vez establecidos los objetivos de sostenibilidad, el siguiente paso es desarrollar una estrategia de certificación que detalle cómo se alcanzarán estos objetivos. Esta estrategia debe incluir un plan de acción claro con hitos y responsabilidades específicas, asegurando que cada miembro del equipo entienda su rol en el proceso de certificación. Esta estrategia debe contemplar tanto las fases de diseño como de construcción, asegurando que los principios de sostenibilidad se incorporen en todas las etapas del proyecto. Por ejemplo, en la fase de diseño, se deben considerar estrategias para la eficiencia energética, como el uso de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado de alta eficiencia, así como la incorporación de tecnologías de energía renovable. En la fase de construcción, es fundamental implementar prácticas de gestión de residuos y utilizar materiales de construcción sostenibles (USGBC, 2024).

Además, la planificación debe considerar la asignación de recursos necesarios para cumplir con los requisitos de la certificación LEED. Esto incluye tanto recursos humanos como financieros. La formación de un equipo de sostenibilidad con experiencia en certificación LEED es esencial, así como la asignación de un presupuesto adecuado para cubrir los costos asociados con las mejoras de sostenibilidad y la documentación requerida.

Durante la planificación, es fundamental establecer un sistema de seguimiento y control que permita monitorear el progreso hacia la certificación LEED. Este sistema debe incluir la recopilación y gestión de datos relevantes, la realización de auditorías internas y la evaluación continua del cumplimiento con los requisitos de LEED. La utilización de herramientas de gestión de proyectos y tecnologías como el *Building Information Modeling* (BIM) puede facilitar este proceso al proporcionar una visualización clara y actualizada del progreso del proyecto y los aspectos relacionados con la sostenibilidad (USGBC, 2024).

A medida que el proyecto avanza, la estrategia de certificación debe ser revisada y ajustada según sea necesario para abordar cualquier cambio o desafío que surja. La flexibilidad y la capacidad de adaptación son cruciales para asegurar que el proyecto se mantenga en el camino hacia el alcance de la certificación LEED (Comisión Europea, 2021).

3.3.3. Implementación de Requisitos LEED en Diseño y Construcción

La implementación de los requisitos LEED en las fases de diseño y construcción de un proyecto es un proceso meticuloso que demanda una planificación rigurosa y una ejecución precisa. Este proceso asegura que los objetivos de sostenibilidad establecidos durante la fase de planificación se traduzcan efectivamente en prácticas concretas y resultados medibles.

En la fase de diseño, es fundamental que los equipos de arquitectura e ingeniería integren los principios de sostenibilidad desde el inicio. Esto implica seleccionar materiales y sistemas constructivos que cumplan con los criterios de LEED, como la eficiencia energética, el uso de recursos renovables y la reducción de emisiones de carbono. Por ejemplo, la elección de materiales de construcción con bajo contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV) contribuye a mejorar la calidad del aire interior, un requisito clave para la certificación LEED. Además, el diseño debe considerar estrategias para la gestión eficiente del agua, como la incorporación de sistemas de recolección de agua de lluvia y la instalación de dispositivos de plomería de bajo consumo (USGBC, 2024).

El diseño también debe contemplar aspectos relacionados con la ubicación y el entorno del proyecto. La selección de un emplazamiento que promueva el transporte sostenible, como la proximidad a redes de transporte público y la creación de infraestructuras para bicicletas, puede otorgar puntos significativos en la certificación LEED. Asimismo, la integración de espacios verdes y la planificación de áreas exteriores con vegetación nativa o adaptada contribuyen a la sostenibilidad del proyecto al reducir la necesidad de riego y mejorar la biodiversidad local (USGBC, 2024).

Durante la fase de construcción, es crucial implementar un sistema de gestión que garantice el cumplimiento continuo de los requisitos LEED. Esto incluye la capacitación del personal de obra en prácticas sostenibles y el seguimiento riguroso de los procedimientos establecidos. La gestión adecuada de los residuos de construcción y demolición es otro aspecto vital; se debe asegurar que al menos el 75% de estos residuos sean reciclados o reutilizados, en línea con los objetivos de LEED para reducir el impacto ambiental (USGBC, 2024).

La implementación de sistemas de monitoreo y control durante la construcción permite evaluar el desempeño en tiempo real y hacer los ajustes necesarios para cumplir con los objetivos de sostenibilidad. Herramientas como el *Building Information Modeling* (BIM) pueden ser extremadamente útiles para este propósito, proporcionando una plataforma integral para gestionar la información del proyecto y facilitar la comunicación entre los diferentes equipos (Eastman et al., 2011).

Además, la colaboración continua entre todos los actores del proyecto es esencial. Reuniones periódicas y sesiones de revisión ayudan a mantener a todos los involucrados alineados con los objetivos de sostenibilidad y permiten abordar de manera proactiva cualquier desafío que surja durante la ejecución. La transparencia y la comunicación efectiva son claves para asegurar que todos los miembros del equipo comprendan sus roles y responsabilidades en relación con los requisitos LEED (Comisión Europea, 2021).

3.3.4. Documentación y Control del Proceso

La documentación y el control del proceso aseguran que todas las actividades del proyecto se realicen de acuerdo con los estándares de sostenibilidad y que se mantenga un registro detallado y verificable de los esfuerzos realizados. Este control es esencial no solo para alcanzar la certificación, sino también para garantizar la transparencia y la mejora continua en los proyectos de construcción sostenible.

En primer lugar, la documentación debe iniciarse desde las primeras etapas del proyecto y mantenerse actualizada a lo largo de todo su ciclo de vida. Esto incluye la recopilación de datos sobre los materiales utilizados, las prácticas de construcción implementadas y las estrategias de sostenibilidad adoptadas. Por ejemplo, es crucial registrar la procedencia y las características de los materiales de construcción para verificar su cumplimiento con los requisitos LEED, como el contenido reciclado o la certificación FSC (*Forest Stewardship Council*) para la madera (USGBC, 2024).

El control del proceso se centra en el seguimiento continuo y la verificación de que las prácticas de construcción cumplen con los estándares LEED. Esto incluye la implementación de inspecciones regulares y auditorías internas para evaluar el progreso y la conformidad con los objetivos de sostenibilidad. Además, es fundamental contar con un sistema de control de calidad que permita identificar y corregir desviaciones de manera oportuna (USGBC, 2024).

Uno de los aspectos críticos del control del proceso es la comunicación efectiva entre todos los participantes del proyecto. Reuniones periódicas y revisiones de progreso son esenciales para asegurar que todos los involucrados estén alineados con los objetivos de sostenibilidad y para facilitar la resolución de problemas de manera colaborativa. La transparencia en la comunicación ayuda a mantener un alto nivel de compromiso y responsabilidad entre los equipos (USGBC, 2024).

La recopilación de evidencia para la certificación LEED también es un componente crucial del proceso de documentación. Esto incluye fotografías, informes de inspección, certificados de materiales y cualquier otra documentación que demuestre el cumplimiento de los requisitos específicos de LEED. Esta evidencia debe ser organizada y presentada de manera clara y coherente para facilitar la revisión por parte del *Green Building Certification Institute* (GBCI) (USGBC, 2024).

3.3.5. Auditorías y Revisión por el USGBC

El proceso de auditoría y revisión por parte del U.S. Green Building Council (USGBC) es una fase crítica en la obtención de la certificación LEED. Este proceso asegura que el proyecto cumple con los estándares de sostenibilidad establecidos y valida los esfuerzos realizados en cada etapa del proyecto.

Las auditorías LEED se llevan a cabo en diversas fases del proyecto para garantizar el cumplimiento continuo con los requisitos. Estas auditorías pueden ser tanto internas como externas. Las auditorías internas son realizadas por el equipo del proyecto y tienen como objetivo identificar y corregir posibles desviaciones de los estándares LEED antes de que se lleve a cabo la auditoría externa. Por otro lado, las auditorías externas son conducidas por representantes del USGBC o entidades certificadas por ellos, quienes revisan la documentación y las prácticas de construcción para asegurar que se han cumplido todos los criterios necesarios.

El proceso de auditoría externa generalmente incluye una revisión exhaustiva de la documentación presentada. Esta documentación debe demostrar el cumplimiento con los créditos LEED solicitados. Los revisores del USGBC evalúan informes detallados sobre el uso de materiales, la gestión de residuos, la eficiencia energética, la calidad del aire interior, entre otros aspectos. La exactitud y la integridad de esta documentación son esenciales para evitar retrasos y asegurar una revisión fluida (USGBC, 2024).

Además de la revisión documental, los auditores pueden realizar solo en algunos casos inspecciones in situ para verificar que las prácticas de sostenibilidad descritas en los informes se implementen efectivamente en el campo. Estas inspecciones pueden incluir la revisión de los sistemas de gestión de residuos en la obra, la verificación de la instalación de equipos de eficiencia energética, y la evaluación de la calidad del aire interior, entre otros aspectos. Las inspecciones in situ brindan una capa adicional de verificación y aseguran que las prácticas sostenibles se lleven a cabo conforme a lo planeado (USGBC, 2024).

Una vez completadas las auditorías, el USGBC proporciona un *feedback* detallado al equipo del proyecto. Este *feedback* puede incluir solicitudes de información adicional, aclaraciones sobre ciertos aspectos del proyecto, o correcciones que deben realizarse para cumplir con los estándares LEED. Es crucial que el equipo del proyecto responda de manera activa y completa a estas solicitudes para evitar retrasos en el proceso de certificación (USGBC, 2024).

3.3.6. Validación y Certificación Final

La etapa de validación y certificación final es la culminación del proceso de implementación de los requisitos LEED. En esta fase, se confirma que el proyecto cumple con los criterios necesarios para obtener la certificación y se procede a la emisión del reconocimiento oficial por parte del USGBC. Este proceso implica una revisión meticulosa y detallada que garantiza la integridad y la efectividad de las prácticas sostenibles aplicadas durante todo el proyecto.

Una vez completadas las auditorías y revisiones previas, el equipo del proyecto debe asegurarse de que toda la documentación esté en orden y refleje con precisión los logros alcanzados en términos de sostenibilidad. Esta documentación incluye, entre otros, reportes de eficiencia energética, gestión de residuos, uso de materiales sostenibles y calidad del aire interior. Es crucial que estos documentos sean claros, coherentes y estén debidamente organizados para facilitar la revisión final por parte del USGBC (USGBC, 2024).

Durante la validación final, el USGBC revisa exhaustivamente toda la documentación presentada. Esta revisión puede incluir la verificación de los créditos obtenidos en cada una de las categorías LEED, tales como Energía y Atmósfera, Materiales y Recursos, y Calidad del Ambiente Interior. El objetivo es asegurar que todos los requisitos se han cumplido y que los datos presentados son precisos y verificables. En esta etapa, la transparencia y la precisión en la documentación son fundamentales para evitar rechazos o solicitudes de información adicional que podrían retrasar la certificación (USGBC, 2024).

Además de la revisión documental, el USGBC puede llevar a cabo inspecciones in situ adicionales si lo considera necesario. Estas inspecciones buscan corroborar que las prácticas descritas en los documentos se implementaron efectivamente en el terreno y que el edificio funciona de acuerdo con los estándares LEED. Las inspecciones adicionales son particularmente importantes para verificar aspectos que pueden no ser completamente evidentes en la documentación, como la eficiencia operativa de los sistemas instalados y la calidad del ambiente interior (USGBC, 2024).

Una vez completada la revisión y validación de la documentación y las inspecciones, el USGBC toma una decisión final sobre la certificación del proyecto. Si se aprueba, el proyecto recibe la certificación LEED correspondiente según los distintos niveles (Certificado, Plata, Oro o Platino) dependiendo del número de créditos obtenidos y del cumplimiento de los requisitos específicos. La certificación se formaliza mediante la emisión de un certificado oficial y la inclusión del proyecto en el registro de edificios LEED, lo cual es un reconocimiento público de los esfuerzos y logros en sostenibilidad (USGBC, 2024).

La obtención de la certificación LEED no solo representa un logro significativo en términos de sostenibilidad y eficiencia ambiental, sino que también ofrece beneficios tangibles para el proyecto y sus *stakeholders*. Estos beneficios incluyen un mayor atractivo para inquilinos y compradores interesados en propiedades sostenibles, posibles incentivos fiscales y una mejor reputación en el mercado. Además, la certificación LEED puede contribuir a la reducción de costos operativos a largo plazo gracias a la eficiencia energética y la gestión optimizada de recursos (USGBC, 2024).

3.3.7. Post-Certificación y Mantenimiento

La obtención de la certificación LEED es un logro significativo que marca el fin de una fase crucial del proyecto y el inicio de un compromiso continuo con la sostenibilidad. La etapa de post-certificación y mantenimiento es esencial para asegurar que el edificio no solo mantiene los estándares que le permitieron obtener la certificación, sino que también mejora continuamente en sus prácticas de sostenibilidad y eficiencia.

Una vez que se ha obtenido la certificación LEED, es fundamental establecer un plan de mantenimiento que garantice el rendimiento continuo del edificio. Este plan debe incluir la monitorización regular de los sistemas de energía, agua, calidad del aire y gestión de residuos. La monitorización continua permite identificar posibles desviaciones de los estándares establecidos y tomar medidas correctivas de manera oportuna, asegurando que el edificio opera eficientemente y dentro de los parámetros de sostenibilidad esperados (USGBC, 2021).

El mantenimiento preventivo juega un papel crucial en esta fase. Implementar un programa de mantenimiento preventivo ayuda a prolongar la vida útil de los sistemas y equipos del edificio, reduce la necesidad de reparaciones costosas y minimiza las interrupciones operativas. Este programa debe incluir inspecciones periódicas, limpieza y ajustes de los sistemas clave, como HVAC, iluminación y plomería, para asegurar que funcionan de manera óptima (USGBC, 2021).

Además, es importante continuar con la educación y capacitación del personal encargado del mantenimiento y operación del edificio. La formación continua garantiza que el personal esté al tanto de las mejores prácticas en sostenibilidad y eficiencia energética, así como de las nuevas tecnologías y métodos que puedan mejorar el rendimiento del edificio. Invertir en la capacitación del personal no solo mejora la gestión del edificio, sino que también fomenta una cultura de sostenibilidad dentro de la organización (USGBC, 2021).

La gestión de datos es otra área crítica en la fase de post-certificación. Mantener registros detallados y precisos de todas las actividades de mantenimiento, consumo de recursos y desempeño del edificio permite realizar análisis comparativos a lo largo del tiempo y evaluar el impacto de las medidas implementadas. Estos datos son valiosos para informar decisiones futuras y asegurar que el edificio sigue cumpliendo con los requisitos de certificación LEED (USGBC, 2021).

El compromiso con la mejora continua es un principio central de la certificación LEED. Realizar auditorías internas periódicas y revisiones de desempeño permite identificar oportunidades de mejora y ajustar las estrategias de mantenimiento según sea necesario. (USGBC, 2024).

La re-certificación es una consideración importante en el mantenimiento post-certificación. Algunos sistemas de calificación LEED requieren re-certificación periódica para asegurar que el edificio sigue cumpliendo con los estándares. Prepararse para la re-certificación implica una revisión exhaustiva de todos los aspectos del desempeño del edificio y la implementación de cualquier mejora necesaria para mantener la certificación. La re-certificación no solo reafirma el compromiso del edificio con la sostenibilidad, sino que también puede ofrecer beneficios adicionales, como incentivos fiscales y una mayor valoración del inmueble (USGBC, 2024).

Capítulo 4 PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA INTEGRADA

El Capítulo 4 presenta una propuesta para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible, integrando de manera sinérgica los principios y herramientas de PM², *Lean Construction* y la certificación LEED. Esta metodología integrada surge como respuesta a los desafíos contemporáneos que enfrenta la industria de la construcción, caracterizados por una creciente demanda de eficiencia, sostenibilidad y calidad en los proyectos habitacionales.

La propuesta se fundamenta en la premisa de que la integración estratégica de estas tres perspectivas puede potenciar significativamente el desempeño de los proyectos, abordando simultáneamente los aspectos técnicos, ambientales y de gestión. PM² aporta un marco estructurado y adaptable para la dirección de proyectos, *Lean Construction* contribuye con principios y herramientas para la optimización de procesos y la reducción de desperdicios, mientras que LEED proporciona estándares rigurosos para la sostenibilidad y el desempeño ambiental de las edificaciones.

Este capítulo detalla cómo estos enfoques se entrelazan para crear una metodología coherente y aplicable, que no solo busca cumplir con los requisitos de certificación LEED, sino que también aspira a transformar fundamentalmente la forma en que se conciben, planifican y ejecutan los proyectos de construcción habitacional sostenible. A lo largo de las siguientes secciones, se explorarán los componentes clave de esta metodología, incluyendo su estructura general, las fases y procesos propuestos, los roles y responsabilidades de los actores involucrados, y los artefactos y documentación sugerida para su implementación efectiva.

La propuesta presentada en este capítulo no pretende ser un modelo rígido, sino más bien un marco flexible que puede adaptarse a las necesidades específicas de diferentes contextos y proyectos. Su objetivo último es poner a disposición de los profesionales de la construcción y gestión de proyectos una herramienta integral que les permita abordar los retos de sostenibilidad, eficiencia y calidad en la construcción habitacional actual.

4.1 Descripción General de la Metodología

La metodología propuesta integra de manera sinérgica los principios y herramientas de PM², *Lean Construction* y la certificación LEED para abordar los desafíos específicos de los proyectos de construcción habitacional sostenible. Esta integración se fundamenta en la necesidad de optimizar la gestión de proyectos, maximizar la eficiencia y garantizar la sostenibilidad en un sector que enfrenta crecientes demandas de responsabilidad ambiental y social.

La estructura base de la metodología se apoya en el marco de PM², aprovechando su enfoque flexible y adaptable a diferentes contextos de proyecto (Comisión Europea, 2021). Sobre esta base, se incorporan selectivamente herramientas y técnicas de *Lean Construction*, las cuales se alinean con las fases y procesos de PM² para potenciar la eliminación de desperdicios, optimizar el flujo de trabajo y fomentar la mejora continua. Asimismo, se integran los requisitos y procesos de la certificación LEED, asegurando que los objetivos de sostenibilidad estén embebidos en todas las etapas del ciclo de vida del proyecto.

La Figura 49 presenta una visión integral de la metodología propuesta, empleando un esquema cromático para distinguir las diversas contribuciones metodológicas. El color gris representa la estructura base de PM², sobre la cual se superponen las intervenciones de *Lean Construction*, destacadas en azul, y las acciones orientadas a la certificación LEED, señaladas en verde. Esta

representación visual facilita la comprensión de cómo las tres metodologías se entrelazan y complementan a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

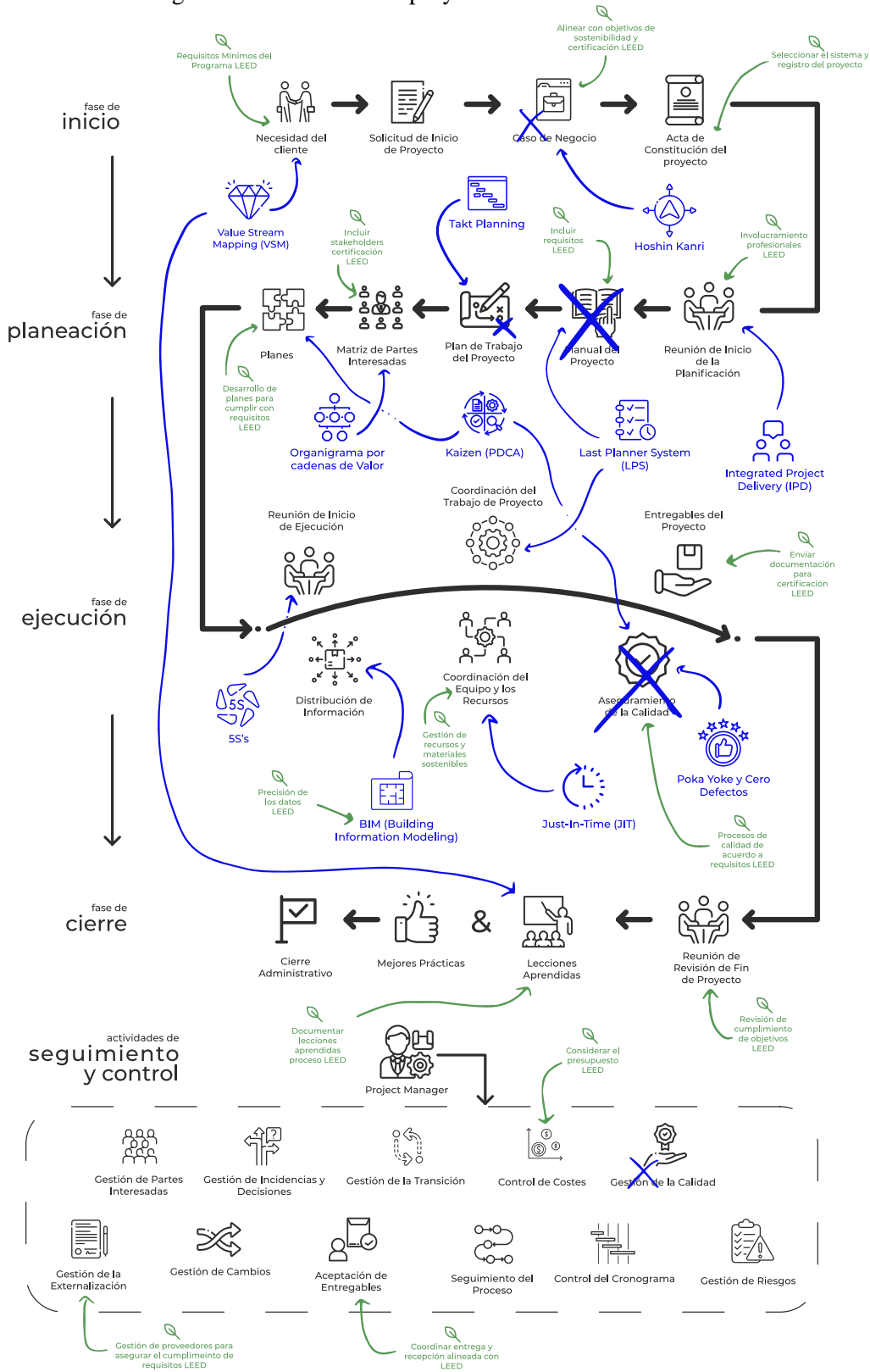


Figura 49. Mapa General Metodología Propuesta Fuente: Elaboración propia

De manera complementaria, la Tabla 5 no solo ofrece una visión general de la metodología, sino que también detalla los artefactos recomendados para cada etapa del proceso. Esta tabla sirve como guía práctica, permitiendo a los equipos de proyecto identificar y utilizar las herramientas y documentos más apropiados en cada fase, asegurando así una implementación coherente y efectiva de la metodología integrada.

Tabla 5. Metodología propuesta más artefactos Fuente: Elaboración propia

Fase	ID	Metodología PM2	Herramientas de Lean Construction	Acciones para la Certificación LEED	Artefactos PM2	ID Artefacto
Fase de inicio	01	Necesidad del cliente	Value Stream Mapping (VSM)	Asegurar que el proyecto cumpla con los Requisitos Mínimos del Programa LEED		
	02	Solicitud de Inicio de Proyecto			Solicitud de Inicio de Proyecto	01
	03	Caso de Negocio	Hoshin Kanri	Alinear el caso de negocio con los objetivos de sostenibilidad y certificación LEED	Matriz X Hoshin Kanri	02
	04	Acta de Constitución del Proyecto		Seleccionar el sistema de calificación LEED adecuado y registrar el proyecto	Acta de Constitución del Proyecto	03
Fase de planeación	05	Reunión de Inicio de la Planificación	Integrated Project Delivery (IPD)	Involucrar a profesionales acreditados LEED en la reunión de planificación	Acta Minuta Reunión	04
	06	Manual del Proyecto	Last Planner System (LPS)	Incluir los requisitos de certificación LEED en el manual del proyecto	PPC (Porcentaje de Plan Completado)	05
	07	Plan de Trabajo del Proyecto	Takt Planning, Sistema Pull			
	08	Matriz de Partes Interesadas	Organigrama por cadenas de Valor	Incluir partes interesadas clave para la certificación LEED	Matriz de Partes Interesadas	06
	09	Planes	Kaizen (PDCA)	Desarrollar planes específicos para cumplir los requisitos LEED (e.g., plan de gestión de residuos)	Planes de Gestión (Varios, solo en caso de implementación requerida)	07*
Fase de ejecución	10	Reunión de Inicio de Ejecución	5S's		Acta Minuta Reunión	08
	11	Distribución de Información	BIM (Building Information Modeling)	Utilizar BIM para gestionar la información del proyecto y asegurar la precisión de los datos LEED	Informes del Proyecto	08
	12	Coordinación del Trabajo de Proyecto	Last Planner System (LPS)			
	13	Coordinación del Equipo y los Recursos	Just-In-Time (JIT)	Gestionar recursos y materiales sostenibles según los requisitos LEED		
	14	Aseguramiento de la Calidad	Integrated Quality Process (IQP) - Poka Yoke	Implementar procesos de calidad que validen el cumplimiento de los requisitos LEED	QFD (Quality Function Deployment)	09
	15	Entregables del Proyecto		Completar y enviar la documentación para la certificación LEED	Listado Aceptación de Entregables	10
Fase de cierre	16	Reunión de Revisión de Fin de Proyecto		Revisar el cumplimiento de los objetivos de certificación LEED	Acta Minuta Reunión	04
	17	Lecciones Aprendidas	Value Stream Mapping (VSM)	Documentar lecciones aprendidas relacionadas con la certificación LEED para mejoras futuras	Informe de Fin de Proyecto	11
	18	Mejores Prácticas			Informe de Fin de Proyecto	11
	19	Cierre Administrativo				
Fase	ID	Metodología PM2	Herramientas de Lean Construction	Acciones para la Certificación LEED	Artefactos PM2	ID Artefacto
Seguimiento y control	20	Control del Cronograma	Takt Planning			
	21	Gestión de Riesgos			Registro de Riesgos	12
	22	Gestión de Partes Interesadas	Integrated Project Delivery (IPD)			
	23	Gestión de Incidencias y Decisiones	Last Planner System (LPS)		Registro de Incidencias, Registro de Decisiones	13-14
	24	Gestión de la Transición				
	25	Control de Costes		Gestionar los costos y considerar el presupuesto de la certificación LEED		
	26	Gestión de la Calidad	Kaizen (PDCA)			
	27	Gestión de la Externalización	Portafolio de Kraljic	Gestionar estratégicamente a proveedores y contratistas para asegurar el cumplimiento de los requisitos LEED		
	28	Gestión de Cambios	Kaizen (PDCA)		Registro de Cambios	15
	29	Aceptación de Entregables		Coordinar la entrega y aceptación de productos finales alineados con LEED		
30	Seguimiento del Proceso	BIM (Building Information Modeling)				

La metodología propuesta se caracteriza por su enfoque holístico, abordando no solo los aspectos técnicos y de gestión, sino también los ambientales, sociales y económicos inherentes a la construcción sostenible. Se estructura en cuatro fases principales, alineadas con PM²: Inicio, Planificación, Ejecución y Cierre, complementadas por actividades transversales de Seguimiento y Control. En cada fase, se incorporan herramientas específicas de *Lean Construction* y acciones orientadas a la certificación LEED, creando un flujo de trabajo coherente y orientado a resultados.

Un aspecto distintivo de esta metodología es su énfasis en la colaboración y la comunicación efectiva entre todos los actores del proyecto. Herramientas como el *Integrated Project Delivery* (IPD) y el *Last Planner System* (LPS) se integran para fomentar un ambiente de trabajo colaborativo y una planificación más precisa y realista. Además, la incorporación de BIM (*Building Information Modeling*) como plataforma de gestión de información facilita la toma de decisiones informada y la optimización del diseño en términos de sostenibilidad.

La metodología también pone un fuerte énfasis en la mejora continua y el aprendizaje organizacional. A través de la implementación de ciclos *Kaizen* y la documentación sistemática de lecciones aprendidas, se busca no solo mejorar el desempeño del proyecto actual, sino también generar conocimiento valioso para futuras iniciativas de construcción sostenible.

En esencia, esta metodología integrada busca proporcionar un marco de trabajo robusto y flexible que permita a los equipos de proyecto abordar eficazmente los desafíos de la construcción habitacional sostenible, equilibrando las demandas de eficiencia, calidad y sostenibilidad. Su implementación promete no solo mejorar el desempeño de los proyectos individuales, sino también contribuir a la transformación del sector de la construcción hacia prácticas más sostenibles y responsables.

4.2 Fases y Procesos de la Metodología Propuesta

La metodología propuesta se estructura en cuatro fases principales, alineadas con el marco de PM², complementadas por actividades transversales de seguimiento y control. Esta estructura integra de manera coherente los elementos de PM², las herramientas de *Lean Construction* y las acciones específicas orientadas a la certificación LEED, creando un enfoque cohesivo y orientado a la sostenibilidad en la gestión de proyectos de construcción habitacional.

Fase de Inicio:

La fase de inicio sienta las bases fundamentales del proyecto, comenzando con una identificación exhaustiva de las necesidades del cliente. En esta etapa, se aplica el *Value Stream Mapping* (VSM) como herramienta inicial para analizar y poder optimizar el flujo de valor desde el principio del proyecto. Este análisis permite identificar áreas de mejora potencial y establecer una visión clara de cómo el proyecto puede generar valor.

La elaboración de la etapa de Caso de Negocio se sustituye utilizando la metodología Hoshin Kanri, lo que asegura una alineación estratégica robusta con los objetivos de sostenibilidad y los requisitos de la certificación LEED. Este enfoque permite desplegar los objetivos estratégicos en todos los niveles del proyecto, garantizando que cada aspecto del mismo contribuya a la visión general de la empresa.

El Acta de Constitución del Proyecto, un documento clave en esta fase, incorpora la selección meticulosa del sistema de calificación LEED más adecuado para el proyecto específico, así como el registro formal del proyecto para la certificación. Este paso es crucial para establecer desde el

inicio un compromiso claro con los estándares de construcción sostenible y proporcionar una dirección precisa para todas las actividades subsiguientes del proyecto. La Figura 50 ilustra la fase de inicio de la metodología propuesta, integrando elementos clave de PM², *Lean Construction* y LEED.

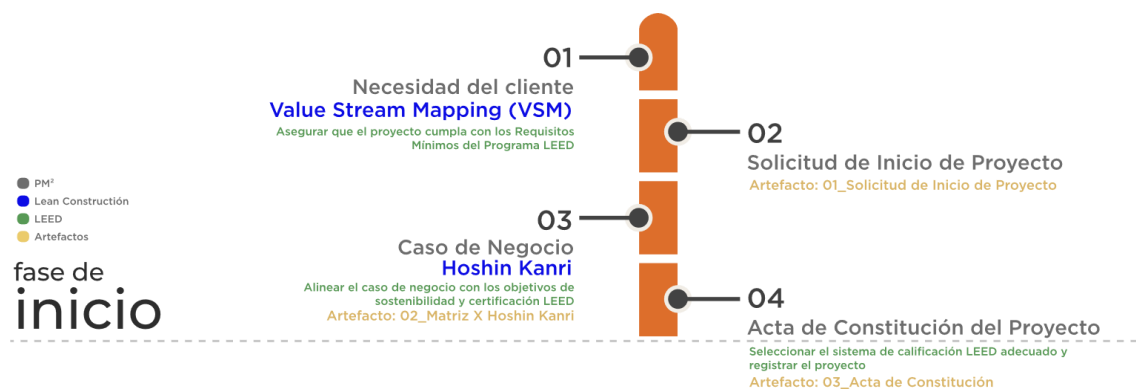


Figura 50. Fase de inicio metodología propuesta Fuente: Elaboración propia

Fase de Planificación:

La fase de planificación se inicia con una reunión estratégica que adopta los principios del *Integrated Project Delivery* (IPD). Este enfoque asegura la participación temprana y colaborativa de todos los actores clave del proyecto, incluyendo a profesionales acreditados LEED. La integración temprana de estos expertos permite incorporar consideraciones de sostenibilidad desde las etapas iniciales de la planificación, lo que puede resultar en soluciones más eficientes y efectivas.

El desarrollo del Manual del Proyecto sugerido por PM² se elimina a reserva de que sea necesario o solicitado y el Plan de Trabajo se realiza integrando el *Last Planner System* (LPS), una herramienta fundamental de *Lean Construction*. Este sistema promueve una planificación colaborativa y una mayor confiabilidad en los compromisos de trabajo. Además, se incorporan técnicas como *Takt Planning* y Sistema *Pull*, que optimizan el flujo de trabajo y reducen los desperdicios, alineándose con los principios de eficiencia energética y uso responsable de recursos propios de LEED.

La Matriz de Partes Interesadas se elabora considerando el Organigrama por Cadenas de Valor, una herramienta que permite visualizar y gestionar el proyecto desde la perspectiva del flujo de valor. Esta matriz incluye de manera explícita a los actores clave para la certificación LEED, asegurando que sus necesidades y expectativas se tengan en cuenta a lo largo del proyecto.

Los planes específicos del proyecto se desarrollan empleando el enfoque *Kaizen* (PDCA), fomentando así la mejora continua y la adaptabilidad. Estos diversos planes establecen los fundamentos para la gestión de distintas áreas dentro del proyecto. Incorporan requisitos específicos de LEED, como el plan de gestión de residuos, que se elabora considerando las características particulares de cada proyecto. Esta integración asegura que las prácticas sostenibles permeen todos los aspectos de la planificación del proyecto.

La metodología adopta un enfoque flexible en la creación de estos planes, reconociendo que no todos los proyectos requerirán el mismo conjunto de documentos. Se desarrollan planes adicionales según las necesidades específicas del proyecto, siempre manteniendo el enfoque en la sostenibilidad y la eficiencia. Esta aproximación adaptativa permite una planificación más precisa

y relevante, optimizando los recursos y asegurando que cada aspecto del proyecto esté alineado con los objetivos generales. En Figura 51 se ilustra la fase de planificación de la metodología propuesta, integrando elementos clave de PM², *Lean Construction* y LEED.

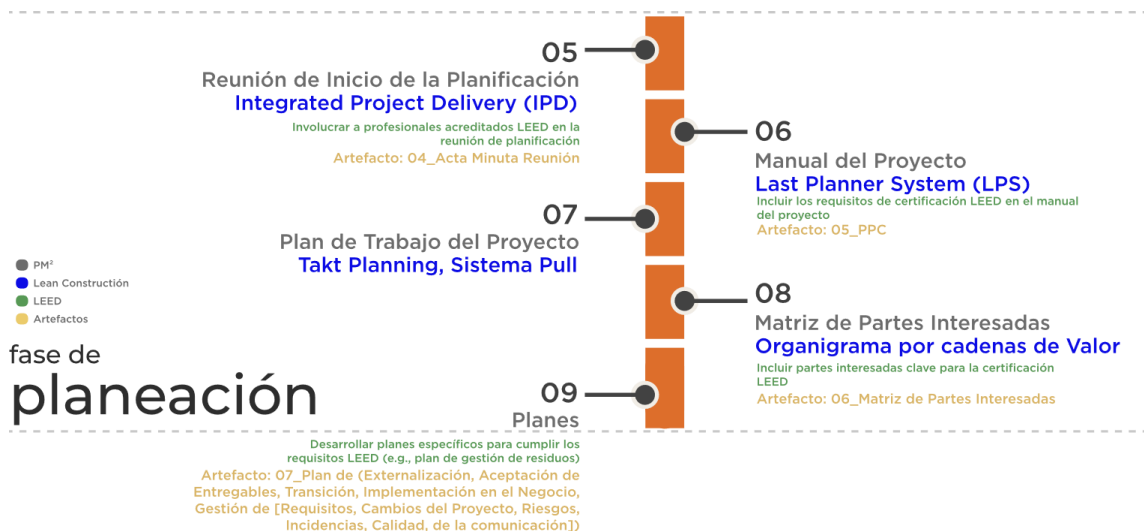


Figura 51. Fase de planificación metodología propuesta Fuente: Elaboración propia

Fase de Ejecución:

La fase de ejecución comienza con una reunión de inicio que implementa los principios de las 5S's (Clasificar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar, Mantener), estableciendo un entorno de trabajo organizado y eficiente desde el principio. Esta práctica no solo mejora la productividad, sino que también contribuye a la reducción de desperdicios, alineándose con LEED.

La distribución de información durante esta fase se apoya fuertemente en BIM (*Building Information Modeling*). Esta herramienta facilita la gestión precisa y centralizada de datos, crucial para cumplir con los requisitos de documentación de LEED. BIM permite una visualización integral del proyecto, facilitando la identificación y resolución de conflictos antes de la construcción, lo que reduce errores y desperdicios en el sitio.

La coordinación del trabajo y los recursos utiliza el *Last Planner System* en conjunto con técnicas *Just-In-Time* (JIT). Esta combinación asegura una gestión eficiente de materiales sostenibles, minimizando el inventario y reduciendo el desperdicio. El LPS promueve una planificación colaborativa y una mayor confiabilidad en los compromisos de trabajo, mientras que JIT optimiza la cadena de suministro, aspectos cruciales para cumplir con los estándares de sostenibilidad de LEED.

El aseguramiento de la calidad durante la ejecución se realiza mediante el *Integrated Quality Process* (IQP) y la implementación de técnicas *Poka Yoke*. Estos enfoques permiten validar de manera continua el cumplimiento de los requisitos, previniendo errores y asegurando que las prácticas sostenibles se mantengan a lo largo de toda la fase de construcción.

Los entregables del proyecto en esta fase incluyen no solo los elementos físicos de la construcción, sino también toda la documentación necesaria para la certificación LEED. Esto implica un seguimiento riguroso y una documentación detallada de todas las prácticas sostenibles implementadas durante la construcción. La Figura 52 ilustra la fase de ejecución de la metodología propuesta, integrando elementos clave de PM², *Lean Construction* y LEED.

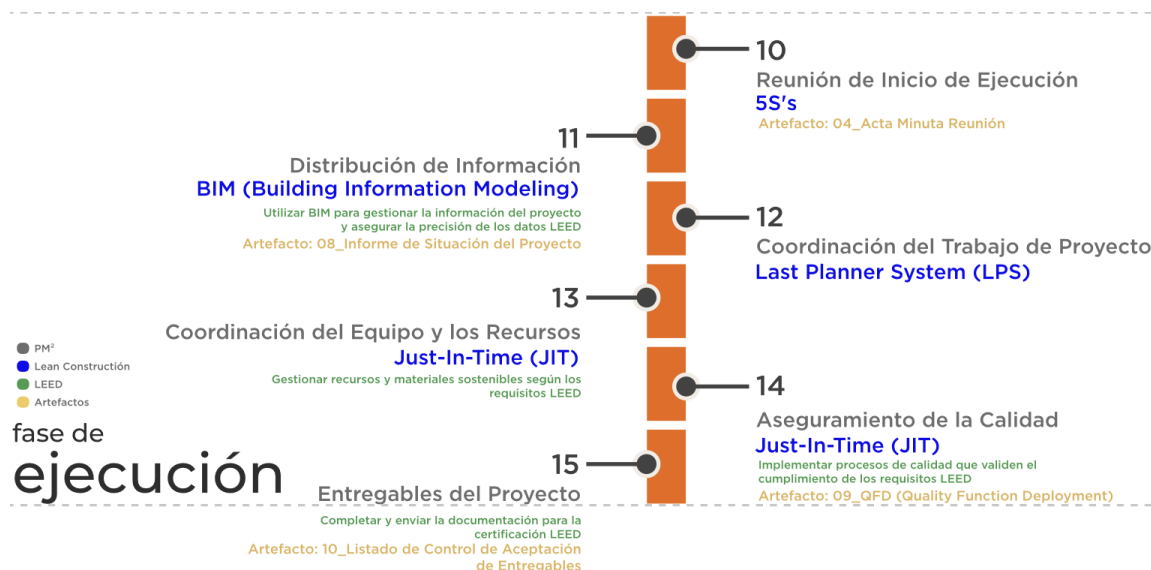


Figura 52. Fase de ejecución metodología propuesta Fuente: Elaboración propia

Fase de Cierre:

La fase de cierre del proyecto incluye una reunión exhaustiva de revisión que evalúa meticulosamente el cumplimiento de los objetivos de certificación LEED. Esta revisión no solo verifica el logro de los requisitos, sino que también analiza el proceso en su conjunto para identificar áreas de mejora para futuros proyectos.

Un componente crítico de esta fase es la documentación detallada de las lecciones aprendidas y mejores prácticas, utilizando nuevamente el *Value Stream Mapping* como herramienta de análisis. Este proceso pone un énfasis especial en la experiencia de certificación LEED, capturando *insights* valiosos que pueden informar y mejorar futuros proyectos de construcción sostenible. La Figura 53 ilustra la fase de cierre de la metodología propuesta, integrando elementos clave de PM², *Lean Construction* y LEED.

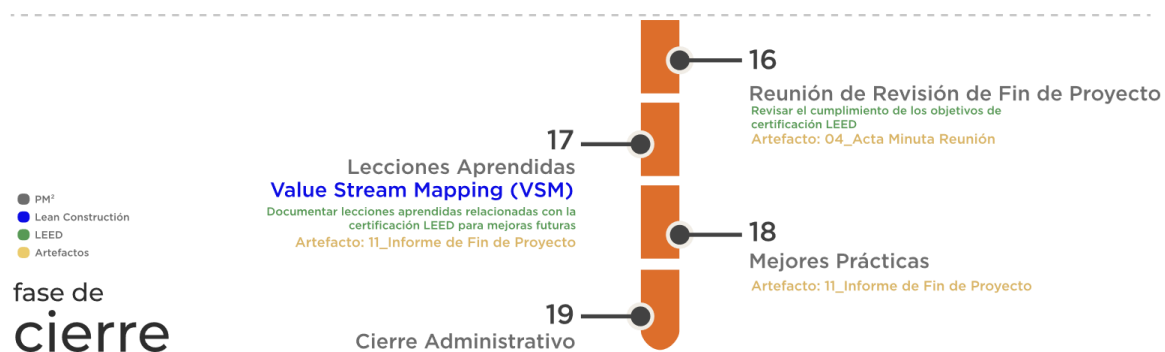


Figura 53. Fase de cierre metodología propuesta Fuente: Elaboración propia

El cierre administrativo del proyecto asegura la finalización de todos los procesos relacionados con LEED, incluyendo la presentación final de la documentación y la resolución de cualquier consulta pendiente con los organismos de certificación. Esta etapa también incluye la transición del proyecto al equipo de operaciones, asegurando que las prácticas sostenibles implementadas se mantengan durante la fase de ocupación del edificio.

Actividades de Seguimiento y Control:

Las actividades de seguimiento y control son transversales a todas las fases del proyecto y juegan un papel crucial en la integración efectiva de PM², *Lean Construction* y LEED. El control del cronograma se realiza mediante *Takt Planning*, asegurando un flujo de trabajo estable y predecible que se alinea con los plazos de certificación LEED.

La gestión de riesgos incorpora consideraciones específicas relacionadas con la certificación LEED, identificando y mitigando potenciales obstáculos para el logro de los créditos de sostenibilidad. La gestión de partes interesadas utiliza el enfoque IPD para mantener una comunicación efectiva y una colaboración continua entre todos los actores del proyecto, incluyendo a los especialistas en sostenibilidad y certificación LEED.

La gestión de incidencias y decisiones se apoya en el *Last Planner System*, permitiendo una resolución rápida y colaborativa de los problemas que puedan surgir durante el proyecto. El control de costes considera de manera explícita el presupuesto asociado a la certificación LEED, asegurando que los recursos necesarios estén disponibles para implementar las prácticas sostenibles requeridas.

La gestión de la calidad utiliza el enfoque *Kaizen*, promoviendo la mejora continua en todos los aspectos del proyecto, incluido el desempeño sostenible. La gestión de la externalización emplea el Portafolio de Kraljic para asegurar que los proveedores y contratistas seleccionados cumplan con los requisitos LEED y estén alineados con los objetivos de sostenibilidad del proyecto.

Finalmente, BIM se utiliza como una herramienta integral para el seguimiento continuo del proceso, permitiendo una visualización en tiempo real del progreso del proyecto y facilitando la toma de decisiones informadas en relación con los objetivos de sostenibilidad y certificación LEED (Fischer et al., 2017). La Figura 54 ilustra las actividades de seguimiento y control de la metodología propuesta, integrando elementos clave de PM², *Lean Construction* y LEED.



Figura 54. Seguimiento y control metodología propuesta Fuente: Elaboración propia

Esta estructura integrada permite una gestión holística del proyecto, donde cada fase y proceso incorpora consideraciones de eficiencia, colaboración y sostenibilidad. Al entrelazar PM², *Lean Construction* y LEED de manera coherente, la metodología propuesta asegura que los objetivos de

construcción sostenible estén embebidos en todo el ciclo de vida del proyecto, desde su concepción hasta su cierre y posterior operación.

4.3 Roles y Responsabilidades en la Metodología Propuesta

La metodología propuesta integra roles y responsabilidades de PM², *Lean Construction* y la certificación LEED, creando una estructura organizativa basada en la organización por cadena de valor que fomenta la colaboración y la eficiencia en la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible. A continuación, se enlistan los roles clave y sus responsabilidades:

Consejo Directivo / Mesa de socios: Órgano de máxima autoridad en la organización, responsable de establecer la dirección estratégica y asegurar la alineación de los proyectos con los objetivos corporativos de sostenibilidad y eficiencia.

- Define la visión estratégica de la empresa y los objetivos de sostenibilidad a largo plazo.
- Aprueban los recursos y políticas necesarios para implementar la metodología integrada.
- Evalúa el desempeño general de los proyectos.

Propietario del Proyecto (PP): Figura clave que representa los intereses del cliente o la organización, responsable de definir la visión del proyecto y asegurar que se cumplan los objetivos de sostenibilidad y valor.

- Define los objetivos estratégicos de sostenibilidad.
- Aprueba los recursos necesarios para la implementación de prácticas *Lean* y la certificación LEED.
- Participa en revisiones clave del proyecto y toma decisiones estratégicas.

Director del Proyecto (DP): Profesional experimentado que lidera la planificación, ejecución y control del proyecto, integrando las metodologías PM², *Lean Construction* y los requisitos LEED para asegurar el éxito del proyecto.

- Lidera la implementación general de la metodología integrada.
- Supervisa la integración efectiva de PM², *Lean Construction* y LEED en las operaciones de la empresa.
- Asegura la alineación entre los diferentes departamentos y la metodología propuesta.
- Implementa las directrices estratégicas del Consejo Directivo.
- Supervisa el desempeño global del proyecto en términos de sostenibilidad y eficiencia.

Coordinador LEED: Experto en sostenibilidad y certificación LEED que guía al equipo del proyecto en la implementación de prácticas sostenibles y asegura el cumplimiento de los requisitos para la certificación.

- Lidera el proceso de certificación LEED.
- Asegura la integración de los requisitos LEED en todas las fases del proyecto.
- Coordina con el equipo de diseño y construcción para implementar estrategias sostenibles.
- Supervisa la documentación y seguimiento de los créditos LEED.

Líder Lean: Especialista en metodologías *Lean* que impulsa la mejora continua y la eliminación de desperdicios en todos los procesos del proyecto, promoviendo la eficiencia y la creación de valor.

Responsabilidades:

- Implementa y supervisa las prácticas *Lean Construction* en el proyecto.
- Facilita sesiones de *Last Planner System* y *Kaizen*.

- Colabora con el Director del Proyecto y el Gerente de Sostenibilidad para alinear las prácticas *Lean* con los objetivos de sostenibilidad.

Comercial: Profesional responsable de la gestión de las relaciones con los clientes y la identificación de oportunidades de negocio, con un enfoque especial en la promoción de soluciones de construcción sostenible y la comunicación de su valor añadido.

- Identifica y desarrolla oportunidades de negocio alineadas con los principios de construcción sostenible.
- Comunica el valor añadido de la metodología integrada a los clientes potenciales.
- Colabora con el Gestor de Partes Interesadas para mantener relaciones positivas con los clientes.

Administración: Área encargada de la gestión financiera y administrativa del proyecto, asegurando la optimización de recursos y el cumplimiento de las normativas, con un enfoque en la viabilidad económica de las prácticas sostenibles.

- Gestiona los aspectos financieros y administrativos relacionados con la implementación de la metodología.
- Asegura la disponibilidad de recursos para las iniciativas de sostenibilidad y certificación LEED.
- Supervisa el cumplimiento de los requisitos legales y normativos asociados a la construcción sostenible.

Diseño - Arquitecto / Ingeniero Principal: Profesional líder en el diseño del proyecto, responsable de integrar principios de sostenibilidad y eficiencia energética en la concepción arquitectónica y estructural del edificio, en línea con los requisitos LEED.

- Lidera el diseño sostenible del proyecto.
- Colabora estrechamente con el Gerente de Sostenibilidad para integrar estrategias LEED en el diseño.
- Participa en sesiones de *Integrated Project Delivery* (IPD).

Construcción - Gerente de Construcción: Líder operativo que supervisa la ejecución del proyecto en el sitio, implementando prácticas *Lean* y asegurando el cumplimiento de los estándares de sostenibilidad durante todo el proceso constructivo.

- Supervisa la ejecución del proyecto en el sitio.
- Implementa prácticas *Lean* como 5S y Just-In-Time en la construcción.
- Asegura el cumplimiento de los requisitos LEED durante la fase de construcción.

Especialistas en Sistemas Sostenibles: Expertos técnicos en áreas específicas como energía renovable, gestión del agua y residuos, que aportan conocimientos especializados para optimizar el desempeño sostenible del edificio.

- Diseñan e implementan sistemas específicos (energía, agua, residuos) alineados con LEED.
- Colaboran con el equipo de diseño y construcción para optimizar el desempeño sostenible.

Gerente BIM: Profesional responsable de liderar la implementación y gestión de la tecnología BIM en el proyecto, facilitando la integración de información sostenible y la colaboración interdisciplinaria.

- Desarrolla y mantiene el modelo BIM del proyecto.
- Integra información relevante para LEED en el modelo BIM.
- Facilita la colaboración y comunicación entre los diferentes equipos a través de BIM.

Coordinadores BIM y Modeladores BIM: Equipo técnico especializado en el desarrollo y mantenimiento de modelos BIM, responsables de integrar la información de sostenibilidad y facilitar la colaboración digital entre todas las disciplinas del proyecto.

- Trabajan bajo la dirección del Gerente BIM para desarrollar y mantener los modelos BIM del proyecto.
- Colaboran con los equipos de diseño y construcción para integrar la información relevante para LEED en los modelos.
- Facilitan la visualización y análisis de datos para la toma de decisiones relacionadas con la sostenibilidad.

Supervisor, Residentes, Aux. Residentes, Seguristas y Almacenistas: Personal de campo que implementa directamente las prácticas *Lean* y los requisitos LEED en el sitio de construcción, asegurando la ejecución práctica de las estrategias de sostenibilidad y eficiencia.

- Implementan las prácticas *Lean* y los requisitos LEED en el sitio de construcción.
- Colaboran en la recopilación de datos y documentación necesaria para la certificación LEED.
- Participan en las sesiones de *Last Planner System* y en la implementación de mejoras continuas.

RRHH: Área responsable de la gestión del talento humano, enfocada en desarrollar las competencias necesarias para la implementación efectiva de la metodología integrada y fomentar una cultura organizacional alineada con la sostenibilidad.

- Desarrolla programas de capacitación en PM², *Lean Construction* y LEED para el personal.
- Recluta y selecciona profesionales con experiencia en construcción sostenible.
- Fomenta una cultura organizacional alineada con los principios de sostenibilidad y mejora continua.

Compras: Equipo encargado de la adquisición de materiales y servicios, con un enfoque en la selección de proveedores y productos que cumplan con los criterios de sostenibilidad y eficiencia del proyecto.

- Implementa estrategias de adquisición sostenible alineadas con los requisitos LEED.
- Colabora con el Líder *Lean* en la implementación de prácticas Just-In-Time y gestión de la cadena de suministro.
- Evalúa y selecciona proveedores que cumplan con los criterios de sostenibilidad del proyecto.

Auxiliares Administrativos: Personal de apoyo que facilita los procesos administrativos y documentales relacionados con la implementación de la metodología integrada, la certificación LEED y las prácticas *Lean*.

- Apoyan en la gestión documental relacionada con la certificación LEED y los procesos *Lean*.
- Asisten en la coordinación logística de reuniones y eventos relacionados con la metodología integrada.

Jurídico: Área que proporciona asesoramiento legal especializado en construcción sostenible, asegurando el cumplimiento normativo y la adecuada estructuración contractual de los proyectos sostenibles.

- Asesora sobre aspectos legales relacionados con la implementación de prácticas sostenibles y certificaciones.
- Revisa y adapta contratos para reflejar los requisitos de la metodología integrada.

TI (Tecnologías de la Información): Equipo responsable de implementar y mantener la infraestructura tecnológica necesaria para soportar la metodología integrada, incluyendo sistemas BIM, plataformas de gestión de proyectos y herramientas de análisis de sostenibilidad.

- Implementa y mantiene las herramientas tecnológicas necesarias para soportar la metodología integrada.
- Asegura la integración efectiva de los sistemas BIM con otras plataformas de gestión de proyectos.
- Desarrolla soluciones para el seguimiento y análisis de datos relacionados con la sostenibilidad y eficiencia del proyecto.

Para visualizar mejor esta estructura, se presenta el siguiente organigrama en la Figura 55:

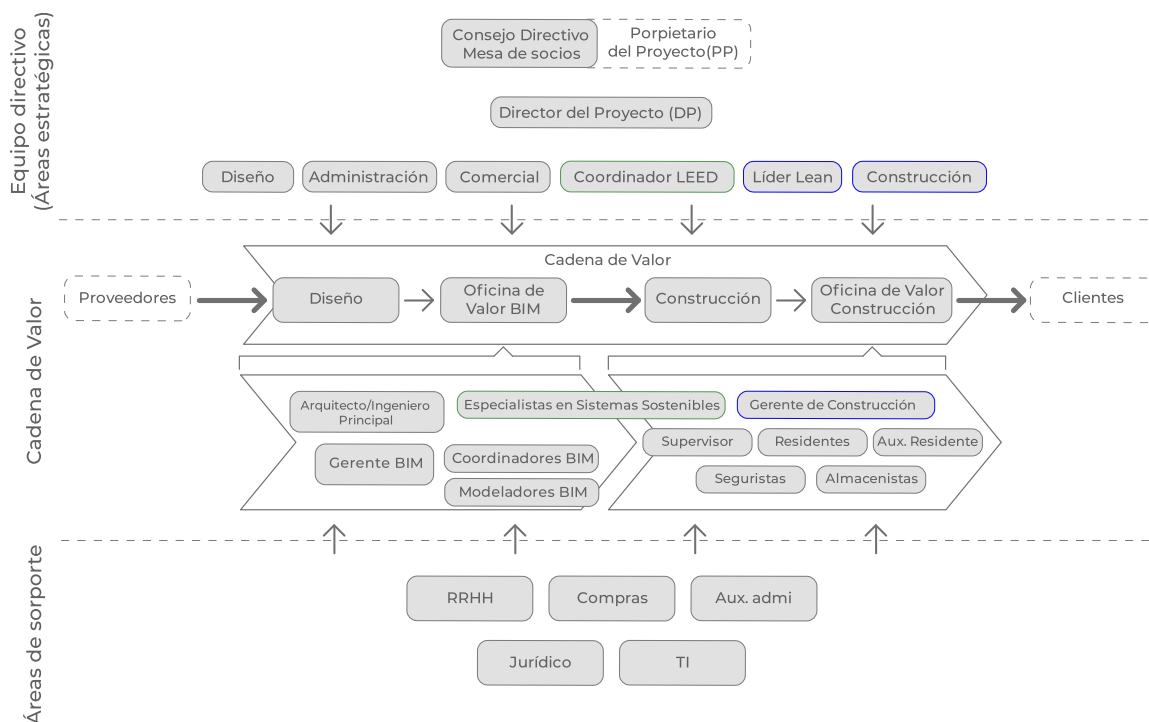


Figura 55. Organigrama por cadena de valor metodología propuesta Fuente: Elaboración propia

Este organigrama ilustra la integración de los diferentes roles en la cadena de valor del proyecto de construcción habitacional sostenible, incorporando elementos de *Lean Construction* (contorno azul) y LEED (contorno verde). La estructura se organiza en torno a la Cadena de Valor, que constituye el núcleo operativo del proyecto.

En la parte superior, se encuentra el Equipo Directivo, compuesto por el Consejo Directivo/Mesa de socios, el Propietario del Proyecto (PP) y el Director del Proyecto (DP). Este nivel establece la dirección estratégica y supervisa la implementación general de la metodología integrada.

Inmediatamente debajo, se ubican las áreas funcionales clave: Diseño, Administración, Comercial, Coordinador LEED, Líder *Lean* y Construcción. Estas áreas actúan como puente entre la dirección estratégica y la ejecución operativa, asegurando la alineación de los objetivos de sostenibilidad y eficiencia en todas las fases del proyecto.

La Cadena de Valor se compone de dos elementos principales: Diseño y Construcción. Esta estructura refleja el flujo de trabajo desde la concepción hasta la entrega del proyecto, integrando las prácticas de *Lean Construction* (contorno azul) y los requisitos LEED (contorno verde) en cada etapa.

Dentro de la Cadena de Valor, se detallan roles específicos como el Arquitecto/Ingeniero Principal, Especialistas en Sistemas Sostenibles, Gerente BIM, Coordinadores y Modeladores BIM, Gerente de Construcción, Supervisores, Residentes, y personal de apoyo. Esta disposición facilita la colaboración interdisciplinaria y enfocada en la cadena de valor al igual que la implementación efectiva de prácticas sostenibles y eficientes.

Las Áreas de Soporte, ubicadas en la parte inferior del organigrama, incluyen RRHH, Compras, Auxiliares Administrativos, Jurídico y TI. Estas áreas proporcionan el apoyo necesario para la realización exitosa del proyecto.

La naturaleza colaborativa de esta estructura se refleja en las interconexiones entre los diferentes roles y áreas. La comunicación fluida y la cooperación entre todos los niveles son esenciales para el éxito del proyecto, asegurando que los principios de PM², *Lean Construction* y LEED se apliquen de manera consistente y efectiva.

Esta estructura organizativa debe ser flexible para adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto, permitiendo ajustes en roles y responsabilidades según sea necesario de acuerdo al tamaño de cada proyecto. La formación continua y el desarrollo de habilidades en PM², *Lean Construction* y LEED son cruciales para que todos los miembros del equipo puedan desempeñar sus roles de manera efectiva en este marco integrado, contribuyendo así al logro de los objetivos de sostenibilidad, eficiencia y calidad del proyecto.

4.4 Artefactos y Documentación de la Metodología Propuesta

La metodología propuesta integra artefactos y documentación provenientes de PM², *Lean Construction* y LEED, creando un conjunto cohesivo de herramientas que respaldan la gestión eficiente y sostenible de proyectos de construcción habitacional. Estos artefactos se han diseñado para facilitar la planificación, ejecución, seguimiento y control del proyecto, asegurando la alineación con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia.

A continuación, se detallan los principales artefactos y documentos de la metodología propuesta:

- 01_Solicitud de Inicio de Proyecto (Ver Anexo 1):** Documento formal que inicia el proyecto, detallando las necesidades del cliente, objetivos preliminares y una evaluación inicial de los requisitos del proyecto. Identifica a los principales interesados y establece una primera estimación de recursos necesarios.
- 02_Matriz X Hoshin Kanri (Ver Anexo 2):** Herramienta visual de planificación estratégica que alinea los objetivos de alto nivel con las acciones operativas diarias. Conecta las metas del proyecto con iniciativas concretas, asignando responsabilidades claras y estableciendo indicadores clave de desempeño (KPIs).
- 03_Acta de Constitución (Ver Anexo 3):** Documento fundamental que define el alcance, objetivos y participantes del proyecto. Incorpora los objetivos de sostenibilidad y eficiencia, detallando cómo estos se alinean con la visión general del proyecto.
- 04_Acta Minuta Reunión (Ver Anexo 4):** Captura decisiones clave, acciones acordadas y compromisos específicos. Incluye un seguimiento de los temas pendientes, asegurando que todos los aspectos importantes se mantengan en primer plano durante el proyecto.
- 05_PPC (Porcentaje de Plan Completado) (Ver Anexo 5):** Métrica que mide la confiabilidad de la planificación general. Incluye un análisis de las causas de no cumplimiento, facilitando la mejora continua en la planificación y ejecución del proyecto.

- 06_Matriz de Partes Interesadas (Gráfico Poder-Interés) (Ver Anexo 6):** Herramienta visual que mapea a los stakeholders según su nivel de influencia e interés en el proyecto. Ayuda a identificar actores clave y potenciales desafíos en la implementación del proyecto.
- 07.01_Plan de Externalización (Ver Anexo 7):** Detalla la estrategia para la contratación de servicios externos, incorporando criterios específicos en la selección de proveedores.
- 07.02_Plan de Aceptación de Entregables (Ver Anexo 8):** Establece criterios detallados para la aceptación de entregables. Define procesos de verificación y validación que aseguran que cada entregable contribuya a los objetivos del proyecto.
- 07.03_Plan de Transición (Ver Anexo 9):** Guía la transición fluida entre las fases del proyecto. Incluye estrategias para la transferencia de conocimientos entre equipos y fases, asegurando la continuidad de las prácticas establecidas.
- 07.04_Plan de Implementación en el Negocio (Ver Anexo 10):** Detalla cómo los resultados del proyecto se integrarán en las operaciones de negocio a largo plazo.
- 07.05_Plan de Gestión de Requisitos (Ver Anexo 11):** Describe el proceso para identificar, documentar y gestionar los requisitos del proyecto.
- 07.06_Plan de Gestión de Cambios del Proyecto (Ver Anexo 12):** Define un proceso riguroso para evaluar y manejar cambios en el proyecto. Así como su clasificación de cambios basado en su impacto potencial en los objetivos del proyecto.
- 07.07_Plan de Gestión de Riesgos (Ver Anexo 13):** Identifica, analiza y planifica respuestas a los riesgos potenciales del proyecto.
- 07.08_Plan de Gestión de Incidencias (Ver Anexo 14):** Establece un proceso estructurado para manejar problemas que surjan durante el proyecto.
- 07.09_Plan de Gestión de Calidad (Ver Anexo 15)** Define los estándares de calidad del proyecto y los procesos de control de calidad específicos para diversos aspectos del proyecto, como la verificación de sistemas instalados o la calidad de los acabados.
- 07.10_Plan de Gestión de la Comunicación (Ver Anexo 16):** Detalla estrategias para una comunicación efectiva a lo largo del proyecto. Asegura que todos los stakeholders estén informados sobre el progreso y los requisitos del proyecto.
- 08.01_Informe de Situación del Proyecto (Ver Anexo 17):** Informe periódico que incluye indicadores de desempeño del proyecto. Proporciona un análisis detallado de cómo las prácticas implementadas están contribuyendo a la eficiencia del proyecto.
- 08.02_Informe de Situación del Proyecto GVG (Ver Anexo 18):** Versión gráfica del informe de situación que utiliza visualizaciones innovadoras para comunicar de manera efectiva el progreso en aspectos clave del proyecto utilizando el Valor Ganado.
- 09_QFD (Quality Function Deployment) (Ver Anexo 19):** Herramienta que traduce los requisitos del cliente en especificaciones técnicas y de diseño. Incluye una matriz de relaciones que vincula las características del edificio con los objetivos del proyecto.

- 10_Listado de Control de Aceptación de Entregables (Ver Anexo 20):** Checklist detallado que verifica el cumplimiento de los criterios de aceptación. Incluye verificaciones específicas para cada fase del proyecto.
- 11_Informe de Fin de Proyecto (Ver Anexo 21):** Documento comprensivo que resume los logros del proyecto y proporciona un análisis detallado del desempeño, lecciones aprendidas y recomendaciones para futuros proyectos.
- 12_Registro de Riesgos (Ver Anexo 22):** Documento dinámico que identifica y gestiona los riesgos del proyecto.
- 13_Registro de Incidencias (Ver Anexo 23):** Documenta y hace seguimiento a los problemas surgidos durante el proyecto.
- 14_Registro de Decisiones (Ver Anexo 24):** Captura las decisiones clave tomadas durante el proyecto con una justificación detallada para cada decisión y su impacto previsto en los objetivos del proyecto.
- 15_Registro de Cambios (Ver Anexo 25):** Registra las modificaciones al proyecto y evalúa detalladamente su impacto en los objetivos del proyecto. Propone estrategias de mitigación cuando sea necesario.

Estos artefactos se complementan con herramientas específicas de *Lean Construction* y LEED, como el *Value Stream Mapping* (VSM) para análisis de procesos, tableros Kanban para gestión visual del trabajo, y listas de verificación LEED para seguimiento de créditos.

La implementación efectiva de estos artefactos requiere un enfoque integrado, donde la información fluya de manera coherente entre los diferentes documentos y herramientas. Por ejemplo, los resultados del VSM pueden informar la actualización del Plan de Trabajo del Proyecto, mientras que el seguimiento del PPC puede generar entradas para el Registro de Incidencias y el proceso de mejora continua.

Es fundamental que estos artefactos no se utilicen de manera aislada, sino como parte de un sistema integrado de gestión de proyectos. La tecnología BIM puede desempeñar un papel crucial en este aspecto, actuando como una plataforma central para la integración y visualización de información relacionada con el diseño, la construcción y el desempeño sostenible del proyecto.

Además, se debe fomentar una cultura de documentación rigurosa y transparente, donde todos los miembros del equipo comprendan la importancia de mantener estos artefactos actualizados y precisos. Esto no solo facilita el cumplimiento de los requisitos de certificación LEED, sino que también proporciona una base sólida para la mejora continua y el aprendizaje organizacional.

En pocas palabras, los artefactos y la documentación propuestos en esta metodología integrada proporcionan un marco para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible. Al combinar elementos de PM², *Lean Construction* y LEED, estos artefactos permiten un enfoque que aborda simultáneamente los aspectos de eficiencia, calidad y sostenibilidad, contribuyendo así al éxito general del proyecto y al logro de los objetivos de construcción sostenible.

Capítulo 5 CONCLUSIONES

En este trabajo después de la investigación y reflexión realizada, se ha llegado a desarrollar una metodología integrada para la gestión de proyectos de construcción habitacional sostenible, combinando diferentes principios y herramientas. Este trabajo no ha sido solo un ejercicio académico, sino una respuesta apasionada a los desafíos reales que enfrentamos en la industria de la construcción en términos de sostenibilidad, eficiencia y calidad. La propuesta metodológica integrada, que combina PM², *Lean Construction* y LEED, nace de la convicción de que podemos y debemos hacer las cosas de manera diferente. No se trata solo de construir edificios; se trata de crear hogares que respeten nuestro planeta y mejoren la vida de las personas que los habitan.

A lo largo de este estudio, se ha evidenciado la importancia crítica de adoptar un enfoque holístico en la gestión de proyectos de construcción sostenible. La integración de PM², con su estructura flexible y adaptable, las herramientas de *Lean Construction* centradas en la optimización de procesos y la eliminación de desperdicios, y los estándares rigurosos de sostenibilidad de LEED, ha resultado en una metodología robusta y comprehensiva. Esta sinergia metodológica no solo aborda los aspectos técnicos y de gestión de los proyectos, sino que también incorpora de manera indirecta las consideraciones ambientales, sociales y económicas que conlleva la construcción sostenible.

Un punto significativo de esta investigación es la importancia fundamental de la colaboración y la comunicación efectiva entre todos los actores involucrados en el proyecto. La verdadera sinergia en los proyectos ocurre cuando se unen fuerzas, ya que la colaboración no es solo una palabra de moda, sino el motor que impulsa la innovación y la excelencia en los proyectos. La metodología propuesta, a través de herramientas como el *Integrated Project Delivery* (IPD) y el *Last Planner System* (LPS), fomenta un ambiente de trabajo colaborativo desde las etapas iniciales del proyecto. Este enfoque no solo mejora la eficiencia en la ejecución, sino que también promueve la innovación y la resolución proactiva de problemas, transformando equipos dispares en unidades cohesionadas con un propósito común.

La incorporación de tecnologías como BIM (*Building Information Modeling*) en la metodología propuesta ha demostrado ser fundamental para la integración efectiva de los principios de sostenibilidad en todas las fases del proyecto. BIM no solo facilita la coordinación y la toma de decisiones informada, sino que también permite una evaluación continua del desempeño sostenible del edificio a lo largo de su ciclo de vida. Esta herramienta tecnológica actúa como un catalizador, dándole algo similar a superpoderes para los equipos de proyecto al permitir visualizar los edificios antes de su construcción y tomar decisiones más inteligentes y sostenibles en cada etapa del proyecto.

Uno de los aspectos más interesantes de la investigación ha sido redescubrir el poder del aprendizaje continuo y la mejora constante. Cada proyecto es una oportunidad para mejorar, cuestionar nuestras suposiciones e innovar. La importancia de la mejora continua y el aprendizaje organizacional en los proyectos de construcción sostenible se ha revelado como un aspecto clave. La metodología propuesta, al incorporar ciclos *Kaizen* y la documentación sistemática de lecciones aprendidas, establece un marco para la evolución constante de las prácticas de gestión y construcción sostenible. Este compromiso con la excelencia transforma cada proyecto en una oportunidad para innovar y mejorar continuamente los procesos y resultados.

En el trabajo también se ha puesto la necesidad de adaptar los roles y responsabilidades tradicionales en los proyectos de construcción para alinearse con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia. Se comprende que para construir de manera sostenible, necesitamos reinventar nuestros

roles y responsabilidades. La inclusión de roles específicos como el Coordinador LEED y el Líder Lean, así como la redefinición de roles existentes para incorporar responsabilidades relacionadas con la sostenibilidad, es crucial para el éxito de la implementación de esta metodología integrada. Estos nuevos roles no son solo nuevos títulos; representan un cambio paradigmático en la forma de concebir y ejecutar proyectos de construcción sostenible y en cómo pensamos sobre nuestro impacto en el mundo con los proyectos de construcción.

En cuanto a los artefactos y herramientas propuestos, se ha demostrado que la adaptación y combinación de elementos provenientes de PM², *Lean Construction* puede resultar en un conjunto de instrumentos altamente compatibles y efectivos para la gestión de proyectos de construcción sostenible. Estas herramientas y artefactos no solo facilitan la planificación y el control del proyecto, sino que también promueven la integración continua de los principios de sostenibilidad en todas las decisiones y acciones del proyecto.

La metodología integrada desarrollada en este trabajo no es simplemente una propuesta teórica, sino un llamado a la acción para transformar la industria de la construcción. Es un recordatorio de que tenemos el poder y la responsabilidad de cambiar la forma en que construimos nuestro entorno. Ofrece un marco flexible y adaptable que puede ser aplicado en diversos contextos y escalas de proyectos, proporcionando a los profesionales del sector una herramienta valiosa para enfrentar los retos de sostenibilidad, eficiencia y calidad en la construcción habitacional del futuro.

En síntesis, la metodología integrada no es solo una propuesta teórica, sino una invitación a reimaginar y mejorar la construcción habitacional del futuro. Ofrece un marco flexible y adaptable que puede ser aplicado en diversos contextos y escalas de proyectos, proporcionando a los profesionales del sector una herramienta para enfrentar los retos de sostenibilidad, eficiencia y calidad. Esta propuesta puede ser una muestra que, con rigor, pasión y un compromiso compartido, es posible lograr grandes avances en la industria de la construcción y con las herramientas adecuadas, no solo se construyen edificios, sino que se contribuye a un futuro mejor para todos.

5.1 Recomendaciones para el Sector y Líneas de Investigación Futuras

A partir de los desarrollos presentados en este trabajo de fin de Máster, se pueden formular varias recomendaciones clave para el sector de la construcción habitacional sostenible, así como identificar potenciales líneas de investigación futura que podrían profundizar y expandir el conocimiento en este campo.

Recomendaciones para el Sector:

- La implementación gradual de la metodología integrada propuesta es fundamental para el sector de la construcción. Se sugiere que las empresas y organizaciones inicien con proyectos piloto, permitiendo así una evaluación detallada de la efectividad de la metodología y la realización de ajustes necesarios antes de su adopción a gran escala.
- La inversión en programas de formación y desarrollo profesional es crucial para el éxito de esta nueva metodología. Es imperativo que los equipos sean capacitados en los principios y herramientas de PM², *Lean Construction* y LEED. Esto facilitará la transición hacia prácticas más sostenibles y eficientes.
- El fomento de una mayor colaboración intersectorial es esencial. Se insta a una cooperación más estrecha entre la industria de la construcción, las instituciones académicas y los

organismos reguladores para crear un ecosistema que apoye la innovación y la adopción de prácticas sostenibles.

- La aceleración en la adopción de tecnologías digitales, especialmente BIM, es fundamental. Se recomienda implementar BIM como eje central para la integración de información y la toma de decisiones en proyectos de construcción sostenible.

Líneas de Investigación Futuras

- La adaptación de la metodología propuesta a diferentes tipologías de construcción representa una línea de investigación crucial. Es necesario explorar cómo esta metodología puede ser aplicada y modificada para su uso en edificios comerciales, institucionales o infraestructuras.
- La integración de la metodología propuesta con tecnologías emergentes ofrece un campo fértil para la investigación futura. Es fundamental explorar cómo la inteligencia artificial, el internet de las cosas (IoT) y la realidad aumentada pueden ser incorporados en la gestión de proyectos de construcción sostenible.
- El estudio de los factores culturales y regionales en la implementación de la metodología integrada es otra área importante para la investigación futura. Es crucial analizar cómo estos factores influyen en la efectividad de la metodología y cómo ésta puede ser adaptada a diferentes contextos globales.
- Profundizar en el estudio del impacto social de los proyectos de construcción sostenible es una línea de investigación de gran relevancia. Es necesario evaluar aspectos como la salud y el bienestar de los ocupantes, la cohesión comunitaria y la equidad social.

Estas recomendaciones y líneas de investigación futura buscan no solo consolidar los posibles avances en este trabajo, sino también abrir nuevos caminos para la innovación y el desarrollo sostenible en el sector de la construcción. La implementación de estas sugerencias y la exploración de estas áreas de investigación tienen el potencial de transformar significativamente la industria, llevándola hacia un futuro más sostenible, eficiente y centrado en el bienestar humano y ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Acero Estudio. (s.f.). El modelado BIM para análisis de energía y medio ambiente. Recuperado el 30 de junio de 2024, de <https://aceroestudio.com/el-modelado-bim-para-analisis-de-energia-y-medio-ambiente/>
- American Institute of Architects (AIA). (2007). *Integrated Project Delivery: A Guide*.
- Andersen, B., Belay, A. M., & Amdahl Seim, E. (2012). *Lean Construction* practices and its effects: A case study at St Olav's Integrated Hospital, Norway. *Lean Construction Journal*.
- Anderson, D. J. (2010). *Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business*. Blue Hole Press.
- Arbulu, R. J., Tommelein, I. D., Walsh, K. D., & Hershauer, J. C. (2003). Value Stream Analysis of a Re-engineered Construction Supply Chain. *Building Research & Information*.
- Arbulu, R., & Tommelein, I. (2002). Value stream analysis of construction supply chains: Case study on pipe supports used in power plants. Proceedings of the 10th Annual Conference of the International Group for *Lean Construction*.
- Architecture Casa. (2016, abril 26). Casa en Saint-Simeon [House in Saint-Simeon]. ArchDaily en Español. <https://www.archdaily.cl/cl/786307/casa-en-saint-simeon-architecture-casa>
- Arditi, D., & Gunaydin, H. M. (1997). Total quality management in the construction process. *International Journal of Project Management*.
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*.
- Ballard, G. (2000). The Last Planner System of production control (Doctoral dissertation). University of Birmingham.
- Ballard, G., & Howell, G. (1998). Shielding production: Essential step in production control. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- BAM! arquitectura. (2019, julio 29). Casa DaB. ArchDaily en Español. <https://www.archdaily.cl/cl/921885/casa-dab-bam-arquitectura>
- Battikha, M. G. (2003). Quality management practice in highway construction. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Berardi, U. (2013). Sustainability assessment of urban communities through rating systems. *Environment, Development and Sustainability*.
- Binnering, M., Dlouhy, J., & Haghsheno, S. (2017). Technical Takt Planning and Takt Control in Construction. Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for *Lean Construction* (IGLC).
- Binnering, M., Dlouhy, J., Müller, M., Schattmann, M., & Haghsheno, S. (2018). Short Takt Time in Construction – A Practical Study. Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for *Lean Construction*.
- BRE. (2021). BREEAM International New Construction 2021. Building Research Establishment.
- Bulhoes, I., Picchi, F., & Folch, A. (2006). Actions to implement continuous flow in the assembly of pre-fabricated concrete structure. Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for *Lean Construction*.
- BusinessMap. (s.f.). Desmitificando la matriz X Hoshin Kanri. Recuperado el 30 de junio de 2024. <https://businessmap.io/es/gestion-lean/hoshin-kanri/desmitificando-la-matriz-x-hoshin-kanri>
- Choccata Quispe, W. (2021, febrero 15). Plataformas colaborativas BIM. Konstruedu. <https://konstruedu.com/es/blog/plataformas-colaborativas-bim>

- CIToolkit. (s.f.). Quality function deployment template. Recuperado el 30 de junio de 2024, de <https://citoolkit.com/templates/quality-function-deployment-template/>
- Comisión Europea, Centro de Excelencia en PM². (2021). Guía de la Metodología de Gestión de Proyectos PM² (v3.0.1). Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- DAIN Arquitectos. (2021). *Lean Construction* [Presentación en PDF].
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. MIT Press.
- DGNB (2020). DGNB criteria set: New construction buildings (Version 2020, International edition). DGNB GmbH.
- Ding, G. K. (2008). Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*.
- Dlouhy, J., Binninger, M., Oprach, S., & Haghsheno, S. (2016). Three-level Method of Takt Planning and Takt Control – A New Approach for Designing Production Systems in Construction. Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for *Lean Construction* (IGLC).
- Dos Santos, A., & Powell, J. (1999). Potential of Poka-Yoke devices to reduce variability in construction. In Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for *Lean Construction* (IGLC-7)
- Dubois, A., & Pedersen, A. C. (2002). Why relationships do not fit into purchasing portfolio models—a comparison between the portfolio and industrial network approaches. *European Journal of Purchasing & Supply Management*.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- ERDC arquitectos. (2016, diciembre 16). WUK 01 Sacha-Yacu. ArchDaily en Español. <https://www.archdaily.cl/cl/801619/wuk-01-sacha-yacu-erdc-arquitectos>
- Fischer, M., Khanzode, A., Reed, D., & Ashcraft, H. W. (2017). *Integrating Project Delivery*. John Wiley & Sons.
- Frandsen, A., Berghede, K., & Tommelein, I. D. (2013). Takt Time Planning for Construction of Exterior Cladding. Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for *Lean Construction* (IGLC).
- Gelderman, C. J., & Van Weele, A. J. (2003). Handling measurement issues and strategic directions in Kraljic's purchasing portfolio model. *Journal of Purchasing and Supply Management*.
- Gestión de Operaciones. (2016, febrero 12). ¿Qué es Just in Time (JIT) o Justo a Tiempo?. *Gestión de Operaciones*. <https://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/que-es-just-in-time-jit-o-justo-a-tiempo/>
- Hessing, T. (s.f.). Push vs. pull system. Six Sigma Study Guide. <https://sixsigmastudyguide.com/push-pull-system/>
- Hidrología Sostenible. (2020, junio 23). Construcción sostenible: Certificado BREEAM y el agua. Recuperado el 30 de junio de 2024, de <https://www.hidrologiasostenible.com/construccion-sostenible-certificado-breeam-y-el-agua/>
- Hirano, H. (1995). *5 pillars of the visual workplace: The sourcebook for 5S implementation*. Productivity Press.
- Hutchins, D. (2008). *Hoshin Kanri: The strategic approach to continuous improvement*. Gower Publishing, Ltd.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The key to Japan's competitive success*. McGraw-Hill.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. McGraw-Hill Education.

- Instituto Tecnológico de Galicia. (2020). Manual técnico BREEAM ES Vivienda 2020 (Ed. 01, IPC-BREEAM-01-04-2020). <http://www.breeam.es/>
- IPMA. (2015). IPMA Competence Baseline (ICB) Version 4.0. International Project Management Association.
- Jackson, T. L. (2006). *Hoshin Kanri for the lean enterprise: Developing competitive capabilities and managing profit*. Productivity Press.
- Jørgensen, B., Emmitt, S., & Bonke, S. (2004). Integrating quality assurance and planning in construction project management. *International Journal of Project Management*.
- Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (12a ed.). Wiley.
- Kesterson, R. K. (2014). *The basics of Hoshin Kanri*. CRC Press.
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (Technical Report No. 72). Stanford University.
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction* (Doctoral dissertation). VTT Technical Research Centre of Finland.
- Koskela, L., Howell, G., Ballard, G., & Tommelein, I. (2002). *The foundations of Lean Construction*.
- Kraljic, P. (1983). Purchasing must become supply management. *Harvard Business Review*.
- Leino, A., Heinonen, R., & Kiurula, M. (2014). Improving Safety Performance Through 5S Program. *Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill Education.
- Liker, J. K., & Convis, G. L. (2012). *The Toyota Way to Lean Leadership: Achieving and Sustaining Excellence through Leadership Development*. McGraw-Hill Education.
- Medina C., G. J. (2020, noviembre 2). *Entrega integrada de proyectos (IPD) - Integrated Project Delivery: Un cambio de paradigma en la gestión de proyectos*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/entrega-integrada-de-proyectos-ipd-integrated-project-gerardo-medina/?trackingId=iRFIlgKGBSkWIHEM5HosRWA%3D%3D>
- Meredith, J. R., & Mantel, S. J. (2011). *Project Management: A Managerial Approach* (8a ed.). Wiley.
- Mesa, H. A., Molenaar, K. R., & Alarcón, L. F. (2016). Exploring performance of the integrated project delivery process on complex building projects. *International Journal of Project Management*.
- Nahmens, I., & Ikuma, L. H. (2012). Effects of *Lean Construction* on sustainability of modular homebuilding. *Journal of Architectural Engineering*.
- Pheng, L. S., & Chuan, C. J. (2001). Just-in-time management of precast concrete components. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Project Management Institute. (2017). *Agile Practice Guide*. Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2021). *Guía del PMBOK* (7a ed.). Project Management Institute.
- Robichaud, L. B., & Anantatmula, V. S. (2011). Greening project management practices for sustainable construction. *Journal of Management in Engineering*.

- Rosenbaum, S., Toledo, M., & González, V. (2014). Improving environmental and production performance in construction projects using value-stream mapping: Case study. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to see: Value stream mapping to add value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute.
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A., & Minkarah, I. (2005). *Lean Construction: From Theory to Implementation*. *Journal of Management in Engineering*.
- Sanz Bohigues, M. (2015, diciembre 21). Plataformas colaborativas BIM. *Konstruedu*. <https://konstruedu.com/es/blog/plataformas-colaborativas-bim>
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*. *Scrum.org*.
- Scrum.org. (s.f.). Scrum framework poster. Recuperado el 30 de junio de 2024, de <https://www.scrum.org/resources/scrum-framework-poster>
- ShadowF. (2020, diciembre 17). Como hacer el ppc / pac - porcentaje del plan completado / porcentaje de actividades completadas [video]. YouTube.
- Shingo, S. (1986). *Zero quality control: Source inspection and the Poka-Yoke system*. Productivity Press.
- Tennant, C., & Roberts, P. (2001). *Hoshin Kanri: Implementing the catchball process*. Long Range Planning.
- Tommelein, I. D. (1998). Pull-driven scheduling for pipe-spool installation: Simulation of *Lean Construction* technique. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Tommelein, I. D., Riley, D. R., & Howell, G. A. (1999). Parade game: Impact of work flow variability on trade performance. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Torrealba, G. E. (2023, diciembre 4). Integrated project delivery (IPD): Gestión colaborativa en construcción. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/integrated-project-delivery-ipd-gestión-colaborativa-en-torrealba-p7hhc/?trackingId=04HdU1iiR0SugbCwuHAXlw%3D%3D>
- USGBC. (2021). LEED v4.1 Operations and maintenance. U.S. Green Building Council.
- USGBC. (2024). LEED v4.1 Building Design and Construction. U.S. Green Building Council.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster.

ANEXOS

Los siguientes anexos contienen una serie de plantillas y artefactos seleccionados para apoyar la implementación de la metodología integrada propuesta en este trabajo. Estos 26 elementos, que abarcan desde la iniciación del proyecto hasta su cierre, están diseñados para facilitar la gestión eficiente de proyectos de construcción dentro de la metodología propuesta.

Cada documento, ya sea en formato Word, Excel o PowerPoint, ha sido adaptado para incorporar los principios de PM², Lean Construction y los requisitos de certificación LEED. Estos artefactos proporcionan una estructura para la planificación, ejecución, seguimiento y control de proyectos, proponiendo la integración de prácticas sostenibles en cada fase.

Los anexos incluyen herramientas esenciales como la Solicitud de Inicio de Proyecto, la Matriz X de Hoshin Kanri, diversos planes de gestión, informes de situación, y registros de seguimiento. Cada uno de estos elementos ha sido seleccionado para promover la eficiencia, la colaboración y la mejora continua en la gestión de proyectos de construcción sostenible.

Para acceder a los artefactos mencionados, el lector encontrará imágenes interactivas a lo largo de este documento. Al hacer clic en cada imagen, se abrirá el archivo anexo correspondiente en su formato original (Word, Excel o PowerPoint), permitiendo una visualización detallada y completa con la posibilidad de adaptar cada plantilla según las necesidades específicas del proyecto.

Adicionalmente, todos estos artefactos están disponibles como archivos adjuntos al presente documento. Esta disposición facilita el acceso directo a las plantillas y herramientas, permitiendo su inmediata implementación en proyectos de construcción.

Se recomienda a los usuarios de esta metodología familiarizarse con estos artefactos y adaptarlos según las necesidades específicas de cada proyecto, manteniendo siempre el enfoque en la sostenibilidad y la eficiencia.

Anexo 3. 03_Acta de Constitución Fuente: Comisión Europea (2021).



Organización [Nombre]
Departamento [Nombre]

Acta de Constitución del Proyecto

<Nombre del Proyecto>

Fecha: <Fecha>
Versión: <Versión>
Versión de Plantilla: 3.0.1



Esta plantilla está basada en PM² V3.0

Para consultar la última versión de esta plantilla por favor visite el Wiki PM²

<La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.>

Anexo 4. 04_Acta Minuta Reunión Fuente: Elaboración propia con base en Comisión Europea (2021)



Elaboró: persona e
Nombre proyecto: proyecto
Codigo proyecto: <XX>

Fecha de reunión: <fecha>
Lugar de reunión: <lugar>
Numero Minuta: <XX>

Asistentes:

<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>	<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>
<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>	<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>
<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>	<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>
<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>	<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>
<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>	<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>
<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>	<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>
<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>	<Iniciales>	<nombre asistente/involucrado>	<empresa>

La información contenida en este documentos es considerada como un registro correcto y fiable a menos que se reciban comentarios contrarios dentro de los 5 días después de recibir estas minutas

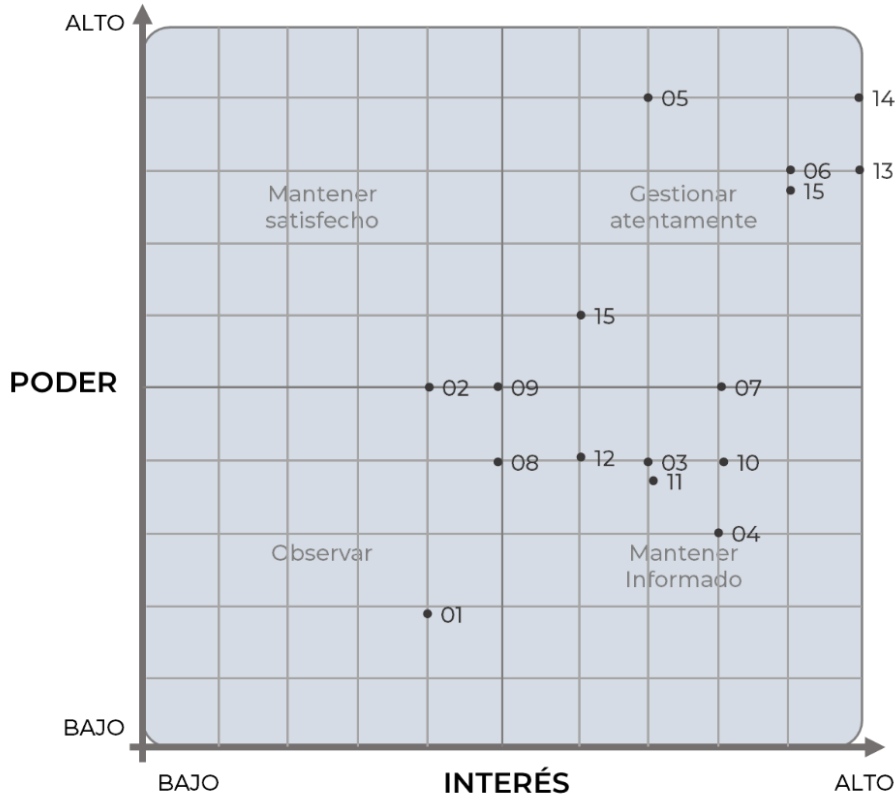
ID	Actividad / Acción	Responsable	Fecha comp.	Comentarios / Acuerdos	Status
Minuta 1 - 240701					
1.01	Sesión 1	<iniciales>	01/01/2024		Cerrado
1.02	Sesión 1	<iniciales>	01/01/2024		Vencido
1.03	Sesión 1	<iniciales>	01/01/2024		Abierto
1.04	Sesión 1	<iniciales>	01/01/2024		Cerrado
1.05	Sesión 1	<iniciales>	01/01/2024		Abierto
1.06	Sesión 1	<iniciales>	01/01/2024		Acuerdo
1.07	Sesión 1	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
Minuta 2 - 240715					
2.01	Sesión 2	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
2.02	Sesión 2	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
2.03	Sesión 2	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
2.04	Sesión 2	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
2.05	Sesión 2	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
2.06	Sesión 2	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
2.07	Sesión 2	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
Minuta 3 - 240801					
3.01	Sesión 3	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
3.02	Sesión 3	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
3.03	Sesión 3	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
3.04	Sesión 3	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
3.05	Sesión 3	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
3.06	Sesión 3	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo
3.07	Sesión 3	<iniciales>	01/01/2024		Nuevo

Anexo 5. 05_PPC (Porcentaje de Plan Completado) Fuente: ShadowF (2020).

LAST PLANNER SYSTEM INFORMACIÓN DE EJEMPLO																					
PPC																					
Proyecto : Casa 2 pisos																					
Fecha de corte :																					
C	Item	Nombre de tarea	Metodo	Unidad	METRADO PLANIFICADO					METRADO REAL					% CUMPLIMIENTO	S/N/O	TIPO	ANÁLISIS DE CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO & MEDIDAS CORRECTIVAS			
					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				COMENTARIO	MEDIDA CORRECTIVA		
PROGRAMACION MAESTRA EJEMPLO LAST PLANNER SYSTEM																					
1	1.1	Concreciones																			
1	1.1.1	Excavación mecánica	700.00	m3																	
1	1.1.1.A	Excavación mecánica - EJE A	200.00	m3	300.00	300.00															
1	1.1.1.B	Excavación mecánica - EJE B	200.00	m3	200.00	200.00															
1	1.1.1.C	Excavación mecánica - EJE C	200.00	m3	200.00	180.00											EQ	Retrasando a sufre de quefijos mecanico	Requerimiento de repuesto, llegada a obra 24/05		
1	1.1.2	Solados	25.00	m2	25.00	25.00															
1	1.1.3	Tapas	15.00	m3	15.00	15.00															
1	1.1.4	Sobrecimientos	12.00	m3	12.00	12.00															
1	1.2	Edificación ter piso																			
1	1.2.1	Muros de albañileria e=0.15cm	200.00	m2																	
1	1.2.1.A	Muros de albañileria e=0.15cm - EJE A	100.00	m2	100.00	100.00															
1	1.2.1.B	Muros de albañileria e=0.15cm - EJE B	70.00	m2	70.00	70.00															
1	1.2.1.C	Muros de albañileria e=0.15cm - EJE C	30.00	m2	30.00	30.00															
1	1.2.2	Columnas	6.00	m3	6.00	6.00															
1	1.2.3	Vigas	5.00	m3	5.00	5.00															
1	1.2.4	Losas	4.00	m3	4.00	4.00															
1	1.3	Arquitectura																			
1	1.3.1	Tarrajeo	260.00	m2	260.00	260.00															
1	1.3.2	Pintura	350.00	m2	350.00	370.00	100.00														
1	1.3.3	Puertas	8.00	und	8.00	8.00	8.00										PER	Personal de pintura entro en para por redama de banco	RRHH converso con personal a su les darabanc "X"		
1	1.3.4	Vidrios	60.00	m2	60.00	45.00	45.00										NO	MAT	Falta de perfiles de aluminio	Se compra el material por caso obra presupuesto 24/05	
1	1.4	Instalaciones electricas																			
1	1.4.1	Instalación de cableado	150.00	m	150.00	150.00	100.00														
1	1.4.2	Interruptores	20.00	und	20.00	20.00	100.00														
1	1.4.3	Commutadores	15.00	und	15.00	17.50	8.00														
1	1.4.4	Tableros	3.00	und	3.00	2.00	2.00											NO	MAT	No requerimiento presupuesto	Se completa requerimiento llegada a obra 24/05
1	1.5	Instalaciones Sanitarias																			
1	1.5.1	Instalación de tuberías	45.00	m	45.00	45.00	100.00														
1	1.5.2	Instalación de inodoros	4.00	und	4.00	4.00	100.00														
1	1.5.3	Instalación de lavamanos	4.00	und	4.00	2.00	2.00											NO	JAP	Actividad previa L 5.2	Se reprograma semana siguiente
1	1.6	Instalación de dachas	2.00	und																	
1	1.6	Edificación 3do piso																			
1	1.6.1	Muros de albañileria e=0.15cm	200.00	m2																	
1	1.6.2	Columnas	5.00	m3																	
1	1.6.3	Vigas	5.00	m3																	
1	1.6.4	Losas	4.00	m3																	
1	1.7	Arquitectura																			
1	1.7.1	Tarrajeo	260.00	m2																	
1	1.7.2	Pintura	350.00	m2																	
1	1.7.3	Puertas	8.00	und																	
1	1.7.4	Vidrios	60.00	m2																	
1	1.8	Instalaciones electricas																			
1	1.8.1	Instalación de cableado	150.00	m																	
1	1.8.2	Interruptores	20.00	und																	
1	1.8.3	Commutadores	15.00	und																	
1	1.8.4	Tableros	3.00	und																	
1	1.9	Instalaciones Sanitarias																			
1	1.9.1	Instalación de tuberías	45.00	m																	
1	1.9.2	Instalación de inodoros	4.00	und																	
1	1.9.3	Instalación de lavamanos	4.00	und																	
1	1.9.4	Instalación de dachas	2.00	und																	

PHI (Ganadas)	11909.40
Porcentaje de avance teorico	51.00%

Anexo 6. 06_Matriz de Partes Interesadas (Grafico Poder-Interés) Fuente: Elaboración Propia



Anexo 7. 06_Matriz de Partes Interesadas' Fuente: Elaboración Propia

Id	Interesado	Descripción	Análisis Stakeholders				Intereses/Inquietudes	Acciones/Estrategia	Directorio Stakeholders						
			Fase/Fases	P	I	Pri			Clasificación	Empresa	Nombre	Puesto	Correo	Teléfono	Comentarios
01	Junta de accionistas		Planación, Ejecución	10	10	100	Clave								
02			Inicio												
03			Cierre, Inicio												
04															
05															
06															
07															
08															
09															
10	Empresas de Logística			6	8	48	Principal								
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18	Union Europea			10	3	30	Secundario								
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															

Anexo 8. 07.01_Plan de Externalización Fuente: Comisión Europea (2021).



Organización [Nombre]
Departamento [Nombre]

Plan de Externalización

<Nombre del Proyecto>

Fecha: <Fecha>
Versión Doc.: <Versión>
Versión plantilla: 3.0



Esta plantilla está basada en PM² V3.0
Para obtener la última versión de esta plantilla, visite el [PM² Wiki](#)

<La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.>

Anexo 9. 07.02_Plan de Aceptación de Entregables Fuente: Comisión Europea (2021).



Organización [Nombre]
Departamento [Nombre]

Plan de Aceptación de Entregables

<Nombre del Proyecto>

Fecha: <Fecha>
Doc. Versión: <Versión>
Versión de plantilla: 3.0.1



Esta plantilla está basada en PM² V3.0

Para consultar la última versión de esta plantilla por favor visite el Wiki PM²

<La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.>

Anexo 10. 07.03_Plan de Transición Fuente: Comisión Europea (2021).



Organización [Nombre]
Departamento [Nombre]

Plan de Transición

<Nombre del Proyecto>

Fecha: <Fecha>
Versión: <Versión>
Versión de Plantilla: 3.0.1



Esta plantilla está basada en PM² V3.0

Para consultar la última versión de esta plantilla por favor visite el Wiki PM²

<La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.>

Anexo 11. 07.04_Plan de Implementación en el Negocio Fuente: Comisión Europea (2021).



Organización [Nombre]
Departamento [Nombre]

Plan de Implementación en el Negocio
<Nombre del Proyecto>

Fecha: <Fecha>
Versión: <Versión>
Versión de Plantilla: 3.0.1



Esta plantilla está basada en PM² V3.0

Para consultar la última versión de esta plantilla por favor visite el Wiki PM²

<La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.>

Anexo 12. 07.05_Plan de Gestión de Requisitos Fuente: Comisión Europea (2021).



Organización [Nombre]
Departamento [Nombre]

Plan de Gestión de Requisitos

<Nombre del Proyecto>

Fecha: <Fecha>
Versión Doc: <Versión>
Versión plantilla: 3.0.1



Esta plantilla está basada en PM² V3.0.1

Para consultar la última versión de esta plantilla por favor visite el Wiki PM²

<La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.>

Anexo 13. 07.06_Plan de Gestión de Cambios del Proyecto Fuente: Comisión Europea (2021).



Plan de Gestión de Cambios del Proyecto
<Nombre del proyecto>

Fecha: <Fecha>
Versión: <Versión>
Versión de Plantilla: 3.0.1



Esta plantilla está basada en PM² V3.0

Para consultar la última versión de esta plantilla por favor visite el Wiki PM²

<La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.>

Anexo 14. 07.07_Plan de Gestión de Riesgos Fuente: Comisión Europea (2021).



Organización [Nombre]
Departamento [Nombre]

Plan de Gestión de Riesgos
<Nombre del Proyecto>

Fecha: <Fecha>
Versión: <Versión>
Versión de Plantilla: 3.0.1



Esta plantilla está basada en PM² V3.0

Para consultar la última versión de esta plantilla por favor visite el Wiki PM²

<La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.>

Anexo 15. 07.08_Plan de Gestión de Incidencias Fuente: Comisión Europea (2021).



Organización [Nombre]
Departamento [Nombre]

Plan de Gestión de Incidencias

<Nombre del Proyecto>

Fecha: <Fecha>
Versión: <Versión>
Versión de Plantilla: 3.0.1



Esta plantilla está basada en PM² V3.0

Para consultar la última versión de esta plantilla por favor visite el Wiki PM²

<La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.>

Anexo 16. 07.09_Plan de Gestión de Calidad Fuente: Comisión Europea (2021).



Organización [Nombre]
Departamento [Nombre]

Plan de Gestión de Calidad

<Nombre del Proyecto>

Fecha: <Fecha>
Versión: <Versión>
Versión de Plantilla: 3.0.1




Esta plantilla está basada en PM² V3.0

Para consultar la última versión de esta plantilla por favor visite el Wiki PM²

<La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.>

Anexo 17. 07.10_Plan de Gestión de la Comunicación Fuente: Comisión Europea (2021).



Organización [Nombre]
Departamento [Nombre]

Plan de Gestión de la Comunicación

<Nombre del Proyecto>

Fecha: <Fecha>
Doc. Versión: <Versión>
Versión de la Plantilla: 3.0.1



Esta plantilla está basada en PM2 V3.0
Para consultar la última versión de esta plantilla por favor visite el Wiki PM2

<La Metodología PM2 tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM2 proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.>

Anexo 18. 08.01_Informe de Situación del Proyecto Fuente: Comisión Europea (2021).



Informe de Situación del Proyecto Plantilla OpenPM2 V3.0.1
<Nombre del Proyecto> 

Periodo del Informe: <dd/mm/aa> a <dd/mm/aa>

<p>FASE: <Inicio/Planificación/Ejecución/Cierre></p> <p>Propietario del Proyecto (PP): <Nombre> Responsable de Negocio (RN): <Nombre> Proveedor de Soluciones (PS): <Nombre> Director del Proyecto (DP): <Nombre></p> <p>RESUMEN DE LA SITUACIÓN DEL PROYECTO <Breve descripción de la situación actual del proyecto></p>	<p>SITUACIÓN GENERAL: Verde/Amarillo/Rojo</p> <p>HITOS <id>/<xx>/<xx> <Describe el hito del proyecto 1> <id>/<xx>/<xx> <Describe el hito del proyecto 2> <id>/<xx>/<xx> <Describe el hito del proyecto 3> <id>/<xx>/<xx> <Describe el hito del proyecto 4> <id>/<xx>/<xx> <Describe el hito del proyecto 5></p> <p>CAMBIOS DEL PROYECTO [ENTRADA DEL REGISTRO DE CAMBIOS] Estado: Verde/Amarillo/Rojo > Severe: <id> > <id> <xx>, categoría <xx>, estado <xx> > <id> <xx>, categoría <xx>, estado <xx> > <id> <xx>, categoría <xx>, estado <xx></p> <p>PRINCIPALES RIESGOS [ENTRADA DEL REGISTRO DE RIESGOS] Estado: Verde/Amarillo/Rojo > Active: <id> > <id> <xx>, nivel <xx>, acción <xx> > <id> <xx>, nivel <xx>, acción <xx> > <id> <xx>, nivel <xx>, acción <xx></p>
<p>INDICADORES DEL PROYECTO Plazo: Verde/Amarillo/Rojo > Fecha de entrega inicial: <dd/mm/aa> > Fecha de entrega estimada: <dd/mm/aa> > Variación: <+ xx meses></p> <p>Coste: Verde/Amarillo/Rojo > Año actual: > Asignado: <xx> días de trabajo, <€>, <xx>, <xx> € > Realizado: <xx> días de trabajo, <€>, <xx>, <xx> € > Estimado: <xx> días de trabajo, <€>, <xx>, <xx> € > Proyecto completo: > Asignado: <xx> días de trabajo, <€>, <xx>, <xx> € > Realizado: <xx> días de trabajo, <€>, <xx>, <xx> € > Estimado: <xx> días de trabajo, <€>, <xx>, <xx> €</p>	<p>INCIDENCIAS [ENTRADA DEL REGISTRO DE INCIDENCIAS] Estado: Verde/Amarillo/Rojo > Urgente: <id> > <id> <xx>, tamaño <xx>, severidad <xx> > <id> <xx>, tamaño <xx>, severidad <xx> > <id> <xx>, tamaño <xx>, severidad <xx></p> <p>DECISIONES [ENTRADA DEL REGISTRO DE DECISIONES] <id>/<xx>/<xx>, <id> <xx> <Describe la decisión 1> <id>/<xx>/<xx>, <id> <xx> <Describe la decisión 2> <id>/<xx>/<xx>, <id> <xx> <Describe la decisión 3> <id>/<xx>/<xx>, <id> <xx> <Describe la decisión 4> <id>/<xx>/<xx>, <id> <xx> <Describe la decisión 5></p>
<p>ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y PROGRAMADAS</p> <p>Desarrolladas: > < Breve descripción de la acción del proyecto en curso 1>, estado <en marcha / completada / pendiente> > < Breve descripción de la acción del proyecto en curso 2>, estado <en marcha / completada / pendiente> > < Breve descripción de la acción del proyecto en curso 3>, estado <en marcha / completada / pendiente></p> <p>Programadas: > < Breve descripción de la siguiente acción clave del proyecto programada 1> > < Breve descripción de la siguiente acción clave del proyecto programada 2> > < Breve descripción de la siguiente acción clave del proyecto programada 3></p>	

Fecha: <Fecha>
1 / 1
Versión: <Versión>

Anexo 19. 08.02_Informe de Situación del Proyecto GVG Fuente: Comisión Europea (2021).

Plantilla OpenPM2 v3.0.1

Informe de Situación del Proyecto

Proyecto: <Nombre>

Fase del Proyecto: <Inicio/Planificación/Ejecución/Cierre>
 Período del Informe: <dd/mm/aa> a <dd/mm/aa>

SITUACIÓN GENERAL: Verde/Amarillo/Rojo

Propietario del Proyecto (PP): <Nombre>
 Responsable de Negocio (RN): <Nombre>
 Proveedor de Soluciones (PS): <Nombre>
 Director del Proyecto (DP): <Nombre>

INDICADORES DEL PROYECTO

Estado: Verde/Amarillo/Rojo
 Fecha de entrega de referencia: <dd/mm/aa>
 Fecha de entrega estimada: <dd/mm/aa>
 Variación: <± x meses>

Coste: Verde/Amarillo/Rojo
 Aligned: <xx> días de trabajo, <1.000,000> €
 Realizado: <xx> días de trabajo, <1.000,000> €
 Estimado: <xx> días de trabajo, <1.000,000> €
 Variación: <0% (Estimado - inicial)>

INDICADORES DEL PROYECTO (A FECHA DE HOY)

Estado: Verde/Amarillo/Rojo
 Planificado: <xx> días de trabajo
 Trabajo Realizado: <xx> días de trabajo
 Valor Ganado (Progress): <xx> días de trabajo
 Trabajo Pendiente: <xx> días de trabajo

Línea Verde: Esfuerzo Planificado (días de trabajo) a lo largo de las semanas.
 Línea Roja: Coste Ejecutado (días de trabajo)
 Línea Azul: Valor Ganado (días de trabajo)

PROGRESO DEL PROYECTO

Inicio	Planificación	Ejecución	Cierre
Seguimiento y Control			

HITOS

<xx/xx/xx> <Describe el hito del proyecto 1>
 <xx/xx/xx> <Describe el hito del proyecto 2>
 <xx/xx/xx> <Describe el hito del proyecto 3>
 <xx/xx/xx> <Describe el hito del proyecto 4>
 <xx/xx/xx> <Describe el hito del proyecto 5>

CAMBIOS DEL PROYECTO (ENTRADA DEL REGISTRO DE CAMBIOS)

Estado: Verde/Amarillo/Rojo
 Severo: <x>
 <id xx>, categoría <xx>, estado <xx>
 <id xx>, nivel <xx>, acción <xx>
 <id xx>, categoría <xx>, estado <xx>

PRINCIPALES RIESGOS (ENTRADA DEL REGISTRO DE RIESGOS)

Estado: Verde/Amarillo/Rojo
 Activo: <x>
 <id xx>, nivel <xx>, acción <xx>
 <id xx>, nivel <xx>, acción <xx>
 <id xx>, nivel <xx>, acción <xx>

INCIDENCIAS (INFORMACIÓN DEL REGISTRO DE INCIDENCIAS)

Estado: Verde/Amarillo/Rojo
 Urgente: <x>
 <id xx>, tamaño <xx>, severidad <xx>
 <id xx>, tamaño <xx>, severidad <xx>
 <id xx>, tamaño <xx>, severidad <xx>

Fecha: <fecha> 1 / 1 Versión: <versión>

Anexo 20. 09_QFD (Quality Function Deployment) Fuente: Adaptación de CIToolkit (s.f.).

Quality Function Deployment (Despliegue de la Función de Calidad)

Título del Proyecto: _____
 Líder del Proyecto: _____
 Fecha: _____

Correlación:

+	.	-
Positiva	Sin Correlación	Negativa

Relationships:

9	3	1	
Fuerte	Moderada	Débil	None

Evaluación competitiva (1: baja, 5: alta)

Puntuación ponderada	Calificación de satisfacción	Calificación de competidor 1	Calificación de competidor 2	Calificación de competidor 3
0				
0				
0				
0				
0				
0				
0				
0				
0				


1: muy fácil, 5: muy difícil
 1: baja, 5: alta

Comentarios/Conclusión:


Guía:
 Complete los requisitos del cliente (Qué's) y la calificación de importancia por requisito.
 Complete los procesos o características necesarios para cumplir con los requisitos del cliente (Cómo's).
 Trabaje a través de la matriz indicando el impacto que los Cómo's tienen en cada requisito del cliente.
 Mire la parte inferior y derecha de la tabla para ver qué requisitos del cliente y funcionales deben recibir más atención.

Nota:
 Solo necesita completar las celdas blancas y azules.

Anexo 21. 10_Listado de Control de Aceptación de Entregables Fuente: Comisión Europea (2021).



Lista de Control de Aceptación de Entregables
<Nombre del Proyecto>



<Esta lista de control debe ser revisada y adaptada (si es necesario), en una primer etapa, cuando se planifique la aceptación de los entregables. Debe basarse en la información presentada en el Plan de Gestión de Aceptación de Entregables, pero también podrá ser (si es necesario), en una primera etapa, las actividades de aceptación de entregables mediante la identificación de los controles clave. A pesar de ello, el objetivo principal de la lista de verificación de aceptación de los entregables es ayudar al director de proyecto (DP) a verificar mediante la identificación de los controles clave. A pesar previsto.>

Control de Aceptación de Entregables		% of Cumplimiento		
#	Descripción	Respuesta	0%	Comentarios
Planificación				
1	¿Se ha documentado y comunicado a las partes interesadas relevantes un Plan de Aceptación de Entregables?	No	0	<Nota de que la justificación para la respuesta.>
2	¿Se definieron y aprobaron los criterios de aceptación de los entregables, las actividades y el control por parte del Propietario del Proyecto (PP)?	No	0	
3	¿Se han programado y acordado las actividades de aceptación con el Propietario del Proyecto (PP), el Grupo de Implementación en el Negocio (GIN) y con otras partes interesadas y organizaciones afectadas?	No	0	
4	¿Cubren los casos de prueba todos los escenarios posibles?	No	0	
Ejecución				
5	¿Se llevaron a cabo las actividades de garantía y control de calidad según lo previsto, como pruebas de aceptación?	No	0	
6	¿Se documenta en un informe de evaluación los resultados de la pruebas?	No	0	
7	¿Se documentan las incidencias y se programa su resolución?	No	0	
8	¿Se realizó la aceptación de los entregables provisionales con un número limitado de problemas menores?	No	0	
9	¿Son los productos entregados probados de nuevo / revisados por el cliente después de la corrección de los problemas identificados?	No	0	
10	¿Están todos los entregables (incluidos los entregables de apoyo, como la documentación) listos para ser finalmente aprobados por el Propietario del Proyecto?	No	0	
Coordinación				
11	¿Se han coordinado las actividades de aceptación con el Propietario del Proyecto, el Grupo de Implementación del Negocio y con otras partes interesadas y organizaciones afectadas?	No	0	
12	¿Se llevó a cabo una Revisión de Preparación para la Operación (que incluye una auditoría de configuración física)?	No	0	
Calidad de los entregables				
13	¿Los entregables cumplen con los requisitos?	No	0	
14	¿Se ha realizado una aceptación provisional de los entregables?	No	0	
15	¿El propietario del proyecto aprobó formalmente los entregables (aprobación de los entregables finales)?	No	0	
16	¿Las revisiones y aprobaciones de los entregables fueron realizadas por la persona asignada (Propietario del proyecto, experto en la materia)? ¿Están documentados?	No	0	
17	¿Se evaluaron e informaron los controles relacionados con los entregables?	No	0	
Comunicación				
18	¿Se han depositado todos los entregables y artefactos relacionados en el repositorio del proyecto? (por ejemplo, resultados de pruebas, autorizaciones...)	No	0	
19	¿Se anunció la aprobación final de los entregables a las partes interesadas?	No	0	

Anexo 22. 11_Informe de Fin de Proyecto Fuente: Comisión Europea (2021).



Organización [Nombre]
Departamento [Nombre]

Informe de Fin de Proyecto

<Nombre del Proyecto>

Fecha: <Fecha>
Versión doc: <Versión>
Versión plantilla: 3.0.1



Esta plantilla está basada en PM² v3.0
Para obtener la última versión de la plantilla visite el Wiki PM²

<La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.>

Anexo 23. 12_Registro de Riesgos Fuente: Comisión Europea (2021).

Identificación y Descripción de Riesgos						Evaluación de Riesgos				Respuesta a Riesgos					
ID	Categoría	Título	Descripción	Estado	Identificado por	Fecha de identificación	Probabilidad (P)	Impacto (I)	Nivel de Riesgo (P*I)	Propietario del Riesgo	Elevar a un nivel superior	Estrategia de Respuesta a Riesgos	Detalles de la Acción responsable y esfuerzo	Fecha objetivo	Trazabilidad / Comentarios
	«Las incidencias pueden ser organizadas en diferentes categorías como: Impacto, Personal, Contratación, Legal, etc.»	«Título corto para el riesgo»	«Descripción del riesgo, incluyendo sus causas, los tipos de problemas que pueden resultar (directos potenciales) y las dependencias del riesgo.» «Causas de OCURSIÓN, podría ser que (EVENTO), lo que llevaría a (IMPACTO).»	«El estado del riesgo puede ser cualquiera de los que se detallan a continuación:» «Pendientes» «Evaluación» «Esperando la aprobación» «Aprobado» «Rechazado» «Cerrado»	«Persona que identifica el riesgo»	«Fecha en la que el riesgo fue identificado» «dd/mm/aaaa»	«Valor numérico que cuantifica la estimación de la probabilidad de que ocurra el riesgo. Los valores posibles son:» «1-Muy alto» «2-Alto» «3-Medio» «4-Bajo» «5-Muy bajo»	«Valor numérico que cuantifica la gravedad del impacto del riesgo (en caso de que ocurra el riesgo). Los valores posibles son:» «1-Muy alto» «2-Alto» «3-Medio» «4-Bajo» «5-Muy bajo»	«El nivel de riesgo es el producto de la probabilidad y el impacto» «N/A-P»	«La persona responsable de la gestión del riesgo y supervisión del mismo»	«¿Es necesario reportar a niveles superiores de dirección? «Sí» o «No»»	«Estrategia de gestión del riesgo: Evitar, Reducir, Aceptar, Transferir/ Compartir»	«Descripción de las acciones de mitigación, incluidos el objetivo, el alcance, los resultados, la persona responsable y el esfuerzo estimado necesario.»	«Fecha en la que se espera que se implemente la respuesta al riesgo»	«Objetos relacionados:» «El plan de trabajo de reducción de riesgos en el Plan de Proyecto» «El plan de trabajo de cambios, problemas o decisiones relacionados (dentro de lo posible).»
RL01															
RL02															
RL03															
RL04															
RL05															
RL06															
RL07															



«Estos datos deben ser borrados en la versión final»
Esta plantilla se basa en la versión PM² V3.0

«La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.»

Anexo 24. 13_Registro de Incidencias Fuente: Comisión Europea (2021).

Identificación y Descripción de la Incidencia						Evaluación de la Incidencia y Descripción de Acciones								
ID	Categoría	Título	Descripción	Estado	Creado por	Fecha de creación	Detalles de la Acción (actuado y responsable)	Urgencia	Impacto	Tamaño	Fecha Objetivo	Propietario de la Incidencia	Elevar a un nivel superior	Trazabilidad y Comentarios
	«Las incidencias pueden ser organizadas en diferentes categorías como: Impacto, Personal, Contratación, Legal, etc.»	«Título corto para la incidencia»	«Descripción de la incidencia, incluyendo su posible origen (riesgos conocidos y desconocidos) y su impacto sobre el proyecto.»	«Estado de la incidencia. Uno de los siguientes valores:» «Abierta» «Propuesta» «Resuelta» «Cerrada»	«Nombre de la persona que ha identificado la incidencia»	«Fecha en la que la incidencia se creó o fue identificada» «dd/mm/aaaa»	«Estrategia propuesta para gestionar la incidencia:» «Para el plan de resolución, los siguientes datos principales pueden ser complementados:» «Identificación de no conformidad, impacto y acciones recomendadas;» «Análisis de los diferentes escenarios así como de los recursos, plazos y costes;» «Selección de la acción más adecuada y asignación de responsabilidades.»	«Valor numérico entre 1 y 2 que indica el grado de urgencia de la incidencia:» «1-Muy alto» «2-Muy bajo»	«Valor numérico entre 1 y 2 que indica el grado de impacto de la incidencia:» «1-Muy alto» «2-Muy bajo»	«Valor numérico entre 1 y 2 que indica el grado de tamaño de la incidencia:» «1-Muy alto» «2-Muy bajo»	«Fecha en la que se espera haber resuelto la incidencia» «dd/mm/aaaa»	«Nombre de la persona responsable de la incidencia»	«¿Es necesario reportar la incidencia a niveles superiores de dirección? «Sí» o «No»»	«Documentos relacionados:» «El plan de riesgos relacionados» «El plan de actividades relacionadas del Plan de Trabajo del Proyecto» «El plan de cambios relacionados.»
RI01														
RI02														
RI03														
RI04														
RI05														
RI06														
RI07														
RI08														
RI09														



«Estos datos deben ser borrados en la versión final»
Esta plantilla se basa en la versión PM² V3.0

«La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.»

Anexo 25. 14_Registro de Decisiones Fuente: Comisión Europea (2021).

Identificación de la Decisión				Propietario de la Decisión			Implementación de la Decisión				
ID	Categoría	Título	Descripción	Creado por	Personas presentes	Comentarios	Propietario	Fecha de la Decisión	Elevar a un nivel superior	Fecha de Aplicación	Decisión comunicada a:
	«Las decisiones pueden ser organizadas en diferentes categorías como: Impacto, Personal, Contratación, Legal, etc.»	«Título corto para la decisión»	«Descripción de la decisión con más detalle e impacto de la misma, si fuera relevante.»	«Nombre de la persona que detectó la necesidad de la decisión.»	«Registro de las personas que estaban presentes cuando la decisión se tomó.»	«ID de cambios relacionados en el registro de cambios.» «ID de riesgos relacionados.» «ID de actividades relacionados en el Plan de Trabajo del Proyecto.» «ID de incidencias relacionadas.»	«Persona responsable de la decisión»	«Fecha en la que la decisión fue tomada»	«¿Es necesario reportar la decisión a niveles superiores de dirección? «Sí» o «No»»	«Fecha en la que la decisión será aplicable.»	«Los grupos, equipos y personas a quienes hay que notificar la decisión.»
D01											
D02											
D03											
D04											
D05											
D06											
D07											
D08											
D09											
D10											
D11											
D12											
D13											
D14											
D15											
D16											
D17											
D18											
D19											
D20											

«Estos datos deben ser borrados en la versión final»
Esta plantilla corresponde a la versión PM² V3.01

«La Metodología PM² tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM² proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.»



Anexo 26. 15_Registro de Cambios Fuente: Comisión Europea (2021).

Identificación y Descripción del Cambio						Evaluación del Cambio y Descripción de Acciones					Aprobación del Cambio			Implementación del Cambio		
ID	Categoría	Título	Descripción	Estado	Solicitado por	Fecha de creación	Detalles de la Acción (recursos y responsable)	Tamaño (Esfuerzo)	Prioridad	Fecha de entrega objetiva	Elevar a nivel superior	Decisión	Decidido por	Fecha de Decisión	Actual Fecha de Entrega	Trazabilidad y Comentarios
	«Los cambios pueden ser organizados en diferentes categorías como negocio, personal, tecnología, riesgos, incidencias, etc.»	«Título corto para el cambio requerido»	«Descripción algo más detallada del cambio requerido incluyendo el posible impacto de no implementarlo.»	«Estado del Cambio. Los valores pueden ser: (no exhaustivo): Evaluándose Aprobado Rechazado Pendiente Implementado»	«Nombre de la persona que solicitó el cambio.»	«Fecha inicial de emisión del requerimiento del cambio <dd/mm/aa>»	«Descripción de la acción recomendada, incluyendo etapas, entregables, planificación, recursos y medios implicados.»	«Valor numérico que indica cuanto esfuerzo será necesario para implementar el cambio: 1- Muy alta a 5- Muy bajo»	«Valor numérico que cuantifica la prioridad del cambio: 1- Muy alta a 5- Muy baja»	«Fecha objetiva en la que el cambio debe estar realizado: <dd/mm/aa>»	«¿Es necesario reportar el cambio a niveles superiores de dirección? «Sí» o «No»»	«Describo la decisión tomada. Posible link al mismo tiene en el registro de decisiones.»	«Persona o comité que ha aceptado o rechazado el cambio.»	«Fecha en la que la decisión fue tomada. <dd/mm/aa>»	«Fecha actual de entrega. <dd/mm/aa>»	«Documentos Relacionados: ID de las actividades relacionadas del Plan de Trabajo del Proyecto. ID de los riesgos, incidencias y decisiones relacionadas. Adjunte cualquier información adicional de interés relacionada con el asunto.»
C01																
C02																
C03																
C04																
C05																
C06																
C07																
C08																
C09																
C10																
C11																
C12																
C13																
C14																
C15																
C16																
C17																
C18																
C19																
C20																

«Estas notas se deben borrar en la versión final»

Esta plantilla se basa en la versión PM2 V3.0

Para la última versión de esta plantilla visite PM2 Wiki

«La Metodología PM2 tiene su origen en la Comisión Europea. Open PM2 proporciona directrices y plantillas para facilitar la gestión y documentación de sus proyectos.»



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Correspondencia entre Grupos de Procesos y Áreas de Conocimiento de la Dirección de Proyectos. Fuente: PMI (2021).....	8
Figura 2. Revisión del Estándar para la Dirección de Proyectos y la Migración de la Sexta Edición a la Séptima Edición de la Guía del PMBOK. Fuente: PMI (2021)	9
Figura 3. La Casa de PM ² . Fuente: PM ² (2021).....	12
Figura 4. Ciclo de vida del proyecto. Fuente: PM ² (2021)	13
Figura 5. Enfoques Lean Fuente: Project Management Institute. (2017)	14
Figura 6. Scrum Framework. Fuente: Scrum.org (s.f.)	16
Figura 7. Ejemplo de un tablero Kanban. Fuente: Project Management Institute. (2017).....	17
Figura 8. Características Lean Construction. Fuente: www.leanbim.solutions	18
Figura 9. Hospital St. Olavs. Fuente: Sanz Bohigues (2015).....	20
Figura 10. Puntos por categoría y Proceso LEED Fuente: Elaboración propia a partir de USGBC (2024) 23	
Figura 11. Categorías BREEAM. Fuente: Hidrología Sostenible (2020)	26
Figura 12. Áreas DGNB. Fuente: DGNB (2020).....	28
Figura 13. Casa en Saint-Simeon. Fuente: Architecture Casa (2016).....	31
Figura 14. Casa DaB. Fuente: BAM Arquitectura (2019).	32
Figura 15. Cabaña WUK 01. Fuente: ERDC arquitectos (2019).....	33
Figura 16. Actividades y principales entregables de la Fase de Inicio Fuente: Comisión Europea (2021) .	37
Figura 17. Actividades y principales entregables de la Fase de Planificación Fuente: Comisión Europea (2021).....	38
Figura 18. Actividades y principales entregables de la Fase de Ejecución Fuente: Comisión Europea (2021)	40
Figura 19. Actividades y principales entregables de la Fase de Cierre Fuente: Comisión Europea (2021). 41	
Figura 20. Actividades y principales artefactos de Seguimiento y Control Fuente: Comisión Europea (2021)	42
Figura 21. VSM estado actual Fuente: Elaboración propia	46
Figura 22. VSM estado futuro Fuente: Elaboración propia	47
Figura 23. Matriz X Hoshin Kanri Fuente: Elaboración propia con base en BusinessMap (s.f.)	49
Figura 24. Ejemplo aplicación matriz X Hoshin Kanri Fuente: Elaboración propia	50
Figura 25. PDCA 4 equipos y 7 experimentos Fuente: Jackson (2006).....	52
Figura 26. Ciclo de vida DBB e IPD Fuente: Elaboración propia con base en Torrealba (2023).....	53
Figura 27. Comparativa DBB e IPD Fuente: Elaboración propia con base en Torrealba (2023).	54
Figura 28. Relación BIM model con IPD Fuente: Medina (2020).....	55
Figura 29. Diferencias contrato Tradicional DBB y Colaborativo IPD Fuente: Elaboración propia con base en Torrealba (2023).	55
Figura 30. Flujo de planificación en cascada del Last Planner System. Fuente: Elaboración propia con base en Ballard (2000).	57
Figura 31. PPC y Razones de incumplimiento. Fuente: Elaboración propia con base en Ballard (2000). ..	58
Figura 32. Visión General de los 3 niveles Takt Planning Fuente: Dlouhy et al. (2016).....	59
Figura 33. Categorización de áreas Takt Planning Fuente: Dlouhy et al. (2016).	60
Figura 34. Ejemplo tabla de armonización Takt Time Fuente: Dlouhy et al. (2016).....	60
Figura 35. Definición de áreas Takt con SSUs y su Takt plan Fuente: Dlouhy et al. (2016).	61
Figura 36. Reuniones Takt y tableros de trabajo Fuente: Dlouhy et al. (2016).	61
Figura 37. Comparación entre un sistema tradicional push y un sistema pull. Fuente: Elaboración propia con base en Hessing (s.f.)	62
Figura 38. Organigrama por Cadenas de Valor. Fuente: Elaboración propia con base en DAIN (2021). ...	64
Figura 39. Ciclo anterior y actual PDCA (Plan-Do-Check-Act). Fuente: Elaboración propia con base en Deming (1986).....	66
Figura 40. Los cinco pilares de las 5S's en un proyecto de construcción. Fuente: Elaboración propia con base en Hirano (1995).....	68
Figura 41. Ejemplo de análisis de eficiencia energética utilizando BIM. Fuente: Acero Estudio (s.f.).....	69

Figura 42. Ejemplo gráfico de colaboración multidisciplinaria utilizando BIM. Fuente: Choccata Quispe (2021).....	70
Figura 43. Comparación entre el enfoque tradicional de gestión de inventario y Just-In-Time (JIT) en la construcción. Fuente: Gestión de Operaciones (2016).....	71
Figura 44. Matriz del Portafolio de Kraljic con las cuatro categorías de productos y ejemplos. Fuente: Elaboración propia con base en Kraljic (1983).....	73
Figura 45. Matriz de la cartera de compras Fuente: Elaboración propia con base en Kraljic (1983).	74
Figura 46. Proceso de administración de la calidad en proyectos de construcción Fuente: Elaboración propia con base en DAIN (2021) y Arditi & Gunaydin (1997)	76
Figura 47. Casa de la calidad / Despliegue de la función calidad Fuente: CIToolkit (s.f.)	77
Figura 48. Ejemplos de métodos de control y advertencia Poka Yoke en proyectos de construcción. Fuente: Elaboración propia con base en Shingo (1986).....	78
Figura 49. Mapa General Metodología Propuesta Fuente: Elaboración propia	88
Figura 50. Fase de inicio metodología propuesta Fuente: Elaboración propia	91
Figura 51. Fase de planificación metodología propuesta Fuente: Elaboración propia.....	92
Figura 52. Fase de ejecución metodología propuesta Fuente: Elaboración propia	93
Figura 53. Fase de cierre metodología propuesta Fuente: Elaboración propia	93
Figura 54. Seguimiento y control metodología propuesta Fuente: Elaboración propia	94
Figura 55. Organigrama por cadena de valor metodología propuesta Fuente: Elaboración propia	98

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorías y Puntajes LEED. Fuente: Elaboración Propia a partir de USGBC (2021)	25
Tabla 2. Categorías y Porcentajes BREEAM. Fuente: Elaboración Propia a partir de Instituto Tecnológico de Galicia (2020)	27
Tabla 3. Categorías y Puntajes DGNB. Fuente: Elaboración Propia a partir de DGNB (2020).	29
Tabla 4. Los 4 equipos y los 7 experimentos Fuente: Elaboración propia con base en Jackson (2006).	51
Tabla 5. Metodología propuesta más artefactos Fuente: Elaboración propia.....	89